

國立台灣大學工學院工業工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Industrial Engineering

College of Engineering

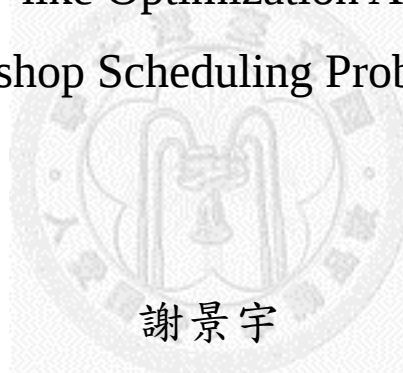
National Taiwan University

Master Thesis

求解零工式生產排程問題的仿水流優化演算法

Water Flow-like Optimization Algorithm for

Job-shop Scheduling Problems



謝景宇

Ching-Yu Hsieh

指導教授：楊烽正 博士

Advisor: Feng-Cheng Yang, Ph.D.

中華民國 101 年 08 月

August, 2012

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

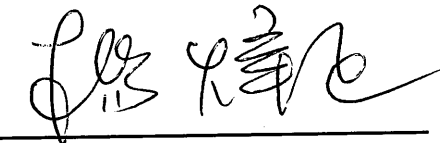
論文中文題目：求解零工式生產排程問題的仿水流優
化演算法

論文英文題目：Water Flow-like Optimization Algorithm
for Job Shop Scheduling Problems

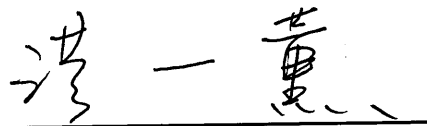
本論文係謝景宇（R98546026）在國立臺灣大學工業工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國 101 年 7 月 30 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

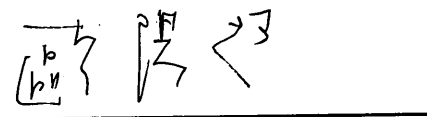
楊烽正
(指導教授)



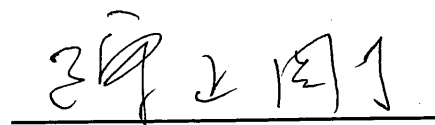
洪一薰



歐陽超



系主任、所長：陳正剛



誌謝

當初要選擇論文題目的時候，並沒有太多的想法，於是便直接承襲了學長的研究，也因此整個研究的過程中碰到了無法想像的困難和挑戰。一路上，指導教授 楊烽正博士不厭其煩地提供了許多的協助和建議，讓我一步一步地從一個在演算法領域的門外漢和完全沒有寫程式經驗的新手到今日得以在台大完成我的碩士論文。老師的要求雖然非常地嚴格，但也讓我學習到做研究所應該持有的態度和精神，每一次和老師的討論過程中，都讓我對老師認真用心的態度和老師的智慧感到無比的欽佩，能跟在老師身邊學習，我想是我在台大這些日子裡最大的收穫。感謝口試委員歐陽超教授和洪一薰教授在論文初成時給予我的建議，讓本篇論文得以更完整而嚴謹。

「要去讀台大嗎？」正思索該如何繼續下筆寫這篇致謝詞的時候，我想起了大學畢業前要選擇去哪裡讀研究所的時候所思考的問題。當初如何下決定的過程已不復記憶，但是仍依稀記得大學有位教授曾經給我的建議，「讀台大吧！一定會讓你有很不一樣的體驗。」在台大的這些日子裡，認識了許多的朋友，增廣了我的見識，讓我的人生添加了更多的精采的回憶，很高興我可以來台大求學，這將會是這輩子最棒的決定。

特別要感謝我的父母，在我的人生過程中一路的支持和照顧，讓我可以朝自己的目標努力；感謝工工所 98 級的同學們，在這段日子裏面因為有你們的陪伴帶給我無限的歡樂，也感謝 99 級的學弟妹在許多事情上的協助。

接下來，人生的下一個階段也即將來臨，我想我已準備妥當，可以繼續向未來大步邁進。最後，深深地向我生命中給予我幫助的每一個人致上最真誠的感謝，謝謝你們，因為你們才得以有今天的我。

景宇 謹謝 2012 年夏 於台大椰林

中文摘要

本研究提出利用零工式生產排程問題的前行限制階層特性進行演化的技術，並使用機器加工步驟排序編碼法增加求解效率，同時開發一套以仿水流演算法求解零工式生產排程問題(Water Flow-like Algorithm for Job-shop scheduling Problems, WFA4JSP)的系統。仿水流演算法是近代創新的演算法，透過模擬水流在自然界中的流動和循環方式來進行演化作業，主要的特色在於能動態調整解代理人的數量，並利用分流移步、匯流、蒸發、和降雨四個作業來進行演化。有別於傳統求解零工式生產排程問題常使用的加工步驟排序的編碼法常出現重複搜尋的浪費，本研究使用以機器加工步驟排序編碼法(Machining-sequence Coding, MSC)來增加求解效率，並融合零工式生產排程問題的加工步驟前行限制特性和因為使用 MSC 所形成的機器加工步驟前行限制特性設計出以機器為基的部分前行階層加工步驟重新指派法(Partial Machine Based Precedence Level Operation Reallocated, PMBPLOR)來進行水流的移步作業，最後與優加劣減螞蟻擇段系統和兩階段粒子群演算法做求解效能比較。結果顯示，在設定相同目標函數呼叫次數上限的停止條件之下，WFA4JSP 於複雜度小的問題普遍可以搜尋到最佳解，而複雜度較大的問題其相對誤差與其他演算法則不相上下。

關鍵字：仿水流演算法，零工式生產排程問題，前行階層，機器加工步驟編碼法

ABSTRACT

This research propose a technique which is using the level property of precedence constraints of job-shop scheduling problems to process the evolution, and use machining-sequence coding method to improve the efficiency of evolution, furthermore, develop a system which is using the water flow-like algorithm to solve the job-shop scheduling problems(WFA4JSP). Water flow-like algorithm is a modern innovative algorithm which is imitating the concept of water flow on the ground. The main characteristics of water flow-like algorithm is dynamically adjusting the number of solution agents, and using splitting, merging, evaporation, and precipitation operators to process the evolution. Instead of using the traditional operation sequence coding method which often cause a waste of re-search, this research using machining-sequence coding method to improve the efficiency of evolution and combining with the operation precedence constraints of job-shop scheduling problems and the machining-operation precedence constraints which is formed by using machining-sequence coding method to develop a partial machine based precedence level operation reallocated method to execute splitting operator. Compared with the “Added to the superior segments and subtracted from inferior segments ant system” and “A two-stage PSO” method, under the same stop criterion, the results show WFA4JSP can find the best solution of most small complexity problems, and the relative deviation value of large complexity problems are comparable.

Keywords: water flow-like algorithm, job-shop scheduling problem, precedence level, machining-sequence coding

目錄

口試委員會審定書	#
誌謝	i
中文摘要	ii
ABSTRACT	iii
目錄	iv
中英文名詞對照表	vii
符號列表	viii
圖目錄	x
表目錄	xii
第 1 章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究方法	3
1.4 章節概要	3
第 2 章 文獻探討	4
2.1 啟發式演算法	4
2.1.1 仿水流演算法	4
2.1.2 遺傳演算法	5
2.1.3 蟻拓搜尋法	6
2.1.4 粒子群優化演算法	7

2.2	零工式生產排程問題	7
2.3	求解零工式生產排程問題的編碼法	8
2.4	文獻小結	8
第 3 章	零工式生產排程問題及其仿水流演算求解法	10
3.1	零工式生產排程問題的定義及其數學模型	10
3.2	JSP 解代理人的編碼及模型	12
3.3	JSP 的階層特性	15
3.4	JSP 的仿水流優化演算法	37
3.4.1	初始參數設定及初始水流	38
3.4.2	分流移步(Splitting)	44
3.4.3	匯流(Merging)	52
3.4.4	蒸發(Evaporation).....	52
3.4.5	降雨(Precipitation).....	53
3.4.6	更新迄今最佳解.....	54
3.5	WFA4JSP 整體演算程序.....	55
第 4 章	仿水流優化演算法系統及範例驗證	56
4.1	WFA4JSP 系統.....	56
4.2	WFA4JSP 標竿問題求解效能分析	59
4.3	小結	65
第 5 章	結論與建議	66
5.1	結論	66
5.2	未來研究和建議	67

REFERENCE	69
附錄 A	70



中英文名詞對照表

中文	英文	英文簡稱
零工式生產排程問題	Job-shop Scheduling Problems	JSP
啟發式演算法	Heuristic Algorithm	
仿水流優化演算法	Water Flow-like Algorithm	WFA
遺傳演算法	Genetic Algorithm	GA
粒子群演算法	Particle Swarm Optimization	PSO
螞蟻最佳化	Ant Colony Optimization	ACO
搜尋代理人	Agent	
加工步驟排序編碼法	Operation-Sequence Coding	OSC
機器加工步驟排序編碼法	Machining-Sequence Coding	MSC
工作為基前行階層	Job Based Precedence Level	JBPL
機器為基前行階層	Machine Based Precedence Level	MBPL
有效排程	Active Schedule	
半有效排程	Semi-Active Schedule	



符號列表

符號	符號簡介
$\bar{m}$	求解問題的機器總數
$\bar{j}$	求解問題的工作總數
M	所有機器的集合， $M = \{1, 2, \dots, \bar{m}\}$
m	機器的索引， $m = 1, 2, \dots, \bar{m}$
J	所有工作的集合， $J = \{1, 2, \dots, n\}$
j	工作的索引， $j = 1, 2, \dots, n$
$\bar{p}$	工作的加工步驟總數
p	加工步驟的索引， $p = 1, 2, \dots, \bar{p}$
o_{jp}	工作 j 的第 p 道加工步驟， $o_{jp} \in M$
O	所有加工步驟的集合， $O = \{o_{jp} \mid j = 1, 2, \dots, \bar{j}; p = 1, 2, \dots, \bar{p}\}$
t_{jp}	加工步驟 o_{jp} 的加工時間
$\mathbf{t}$	每一道加工步驟的加工時間， $\mathbf{t} = [t_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}}$
w_{jp}	加工步驟 o_{jp} 所需要的加工機器
$\mathbf{w}$	每一道加工步驟所需要的加工機器 $\mathbf{w} = [w_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}}$
s_{jp}	加工步驟 o_{jp} 的加工起始時間
S	所有加工步驟的加工起始時間集合 $S = \{s_{jp} \mid j = 1, 2, \dots, \bar{j}; p = 1, 2, \dots, \bar{p}\}$
$f(S)$	最晚完工時間，即 JSP 目標函數值
n	當代的水流股數
k	水流的索引， $k = 1, 2, \dots, n$
$\bar{n}$	單股水流分流數上限
n_i	第 i 股水流的子水流股數
X	當代所有水流的集合， $X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n\}$
N	水流股數的上限， $n \leq N$
$\bar{\mu}$	初始水流質量

符號	符號簡介
μ_i	水流 i 的質量
L_i	水流 i 的最大加工步驟階層值
τ	水氣蒸發率
σ	大氣中的水氣含量
ρ	降雨因子
α_i	水流 i 的重新指派加工步驟區段起始階層
β_i	水流 i 的重新指派加工步驟區段階層數
λ	演化代次
$\bar{\lambda}$	演化代次的上限
E	目標函式呼叫次數
$\bar{E}$	目標函式呼叫次數的上限



圖目錄

圖 3.1	OSC 範例 $\mathbf{x} = [3\ 2\ 2\ 1\ 3\ 1]$ 其加工步驟排序和排程結果示意	13
圖 3.2	OSC 範例 $\mathbf{x}' = [2\ 3\ 2\ 1\ 3\ 1]$ 其加工步驟排序及排程結果示意	14
圖 3.3	JSP 加工步驟前行限制階層關係示意	16
圖 3.4	加入代表機器 1 的前行限制關係單向虛線箭頭結果	19
圖 3.5	加入代表機器 2 的前行限制關係單向虛線箭頭結果	20
圖 3.6	加入代表機器 3 的前行限制關係單向虛線箭頭結果	20
圖 3.7	加入代表機器 4 的前行限制關係單向虛線箭頭結果	21
圖 3.8	範例 JSP 其以機器為基的排程結果甘特圖	26
圖 3.9	交換圖 3.7 中機器 4 上的工作 1 和工作 2 的順序後的前行限制關係圖	27
圖 3.10	交換機器 2 上工作 1 和工作 2 的順序而產生不合理的	28
圖 3.11	加工步驟 o_{32} 和 o_{13} 交換之前的機器加工步驟排序關係	29
圖 3.12	交換加工步驟 o_{32} 和 o_{13} 後的結果	30
圖 3.13	範例 MBPL 示意	32
圖 3.14	指派階層 1 的加工步驟後的 MBPL	35
圖 3.15	指派階層 2 的加工步驟後的 MBPL	36
圖 3.16	逐層指派加工步驟作業完成後的 MBPL	36
圖 3.17	水流 i 的 MBPL 和其 PMBPLOR 區間的起始階層 α_i 及階層數 β_i 關係	39
圖 3.18	將圖 3.8 中在機器 4 加工的加工步驟 o_{11} 提早加工後的機器排程甘特圖	40
圖 3.19	JSP 有效排程範例機器甘特圖	41

圖 3.20	本研究提出的 WFA4JSP 演算流程.....	55
圖 4.1	WFA4JSP 使用者介面.....	57
圖 4.2	求解過程中的視覺效果展示圖	58
圖 4.3	WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統的演化最佳求解結果相對誤差比較	61
圖 4.4	WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化平均求解結果相對誤差比較.	62
圖 4.5	WFA4JSP 和 2ST-PSO 的標竿問題求解結果相對誤差比較.....	65



表目錄

表 4.1	WFA4JSP 參數設定.....	59
表 4.2	WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化最佳求解結果比較.....	60
表 4.3	WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化平均求解結果比較.....	62
表 4.4	WFA4JSP 和 2ST-PSO 求解結果比較.....	64



第 1 章 緒論

本章主要說明本研究的研究動機，研究目的，研究方法，及研究流程。首節

1.1 將概述啟發式演算法的發展歷程。1.2 節將介紹本研究的目的及所探討的問題。

1.3 節將簡述本研究所承襲的研究方法。最後 1.4 節將概述本研究的章節整理。

1.1 研究背景

在電腦科技日益進步及優化問題複雜度持續增高的背景之下，近數十年來啟發式演算法(heuristic algorithm)的開發也逐漸成為一股發展趨勢。透過在解空間內進行有系統的搜尋，並在可接受的演算時間之下亦步亦趨地朝優化的方向移動。因此，啟發式演算法在解空間廣大或複雜度極高的優化問題求解上應用得相當廣泛，除了擁有傳統演算法基本的搜尋解技巧之外，還兼顧其他特點，包括有密集搜尋可能含有最佳解的區域、跳脫區域最佳解(local optimization)、增加搜尋問題廣度(exploitation)、以及鑽研問題深度(exploration)等機制。現今常被使用的啟發式演算法包括：禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)、模擬退火法(Simulated Annealing, SA)、遺傳演算法(Genetic Algorithm)、粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)、仿電磁吸斥優化演算法(Electromagnetism-like Mechanism, EM)、...等。

一般來說，啟發式演算法可依搜尋代理人(agent)型態分為兩種類別：單一代理人及多代理人。所謂的代理人即是代表解的一種運算形式。所謂的單一代理人，是在產生初始解之後，在解空間中利用單一路線的搜索過程來找尋最佳解，求解的過程往往是比較緩慢且較沒效率的。典型的單一代理人搜尋的啟發式演算法有禁忌搜尋法、模擬退火法、...等。相反地，多代理人則是在初始解時，即定義一

定數目的多個代理人解，再用特殊的交互作用機制來搜尋最佳解；相較於單一代理人而言，多代理人在求解效率及有效性上大大的提升。典型的多代理人搜尋的啟發式演算法有基因演算法、粒子群優化演算法、...等。而本研究所承襲的仿水流演算法(Water Flow-Like Algorithm, WFA)則是融合了上述的兩種型態，以單一股水流作為初始代理人，而在演化過程中則可動態調整代理人個數。

1.2 研究目的

零工式生產排程問題(Job-Shop Scheduling Problem; JSP)是一個近年來非常重要的議題，因為它可以反映出工廠內實際的作業情形。但問題的複雜度隨著科技發展的腳步也日益增加，而如何在限定的時間之內提出最有效率的排程方法便也逐漸成為一門顯學。產學界都已投入相當多的研究在 JSP 的議題上，而本研究則是希望透過導入最新的啟發式演算法 WFA，期能比較和改善現今的求解品質。

WFA 一開始提出時，主要是用於求解物件分群優化的問題，而實驗結果也證實其求解結果優於其他的啟發式演算法；另外雖然也曾嘗試利用 WFA 來求解物件排序優化問題，但效果不彰(楊烽正和王元鵬 2007)。而後繼研究者也曾試著設計一套適合求解一般物件排序問題的仿水流優化演算法，但結果仍有待加強(潘嘉琪 2008)。本研究希望承襲過往的經驗，並研擬專門求解零工式生產排程問題的仿水流優化演算法。

一般常見用於求解零工式生產排程問題的編碼方式是以加工步驟排序的編碼法，此種編碼法雖然可使解碼的過程不會產生不合理的理解，但是卻會有重複搜尋的浪費。本研究希望根據零工式生產排程問題的特性設計新的編碼法，使得求解效率能夠提升。

1.3 研究方法

本研究所使用的仿水流離散優化演算法是承襲楊烽正和王元鵬 (2007)共同提出的創新演算法，並欲藉由零工式生產排程問題的前行限制關係和機器加工步驟排序編碼法開發求解零工式生產排程問題的仿水流優化演算求解法(Water Flow-like Algorithm for Job-shop Scheduling Problems, 以下簡稱 WFA4JSP)。數值測試將使用 OR-Library 中的 JSP 標竿問題。為驗證所提演算法之可行性，本研究也實際開發一套專門求解零工式生產排程問題的仿水流優化演算求解系統。

1.4 章節概要

本論文共計五章。本章主要揭示本研究的研究背景、研究目及研究方法和流程。第二章是文獻探討，將綜合比較常見的啟發式演算法之特性與優缺點及零工式生產排程問題近年來的發展。第三章將介紹零工式生產排程問題及本研究所開發 WFA4JSP。第四章會展示本研究所實作的系統，並與其他演算法比較求解品質。最後第五章是結論，將對於整體的研究做總結，並提供未來研究之方向與建議。

第 2 章 文獻探討

本章將介紹一些常用於求解零工式生產排程問題的啟發式演算法，並介紹本研究所求解的探討的零工式生產排程問題的相關研究，最後說明常見使用於求解零工式生產排程問題的編碼方式。

2.1 啟發式演算法

2.1.1 仿水流演算法

仿水流演算法(Water Flow-like Algorithm, WFA)是由楊烽正和王元鵬共同提出，主要的概念是仿效水流在自然界中的物理行為設計其演化作業。仿水流演算法將解空間視為地理空間，而每股水流即代表一個解的位置，而地理空間中的最低點則視為是解空間中的最佳解。演化初期由單一解代理人開始進行演化，並可以隨著所設定的條件動態調整解代理人的數量，使得解的搜尋不至於像單股解代理人的演算法一樣求解速度緩慢或是像固定解代理人數量的演算法一樣常有沒效率的搜尋。

水流具有分流移步、匯流、蒸發、和降雨等作業，分流移步即是仿照水流在自然界中的分流、流動的行為，使得解代理人可以在解空間中進行搜尋的作業；流經同一位置的多股水流也會匯集成一股水流，透過匯流作業使得多個代表相同解的代理人可以匯集在一起，提高求解的效率；而蒸發作業則是啟動降雨作業的開關，一旦大氣中的水氣達到飽和點時，便會形成降雨落到地面上，仿水流演算法藉由降雨作業增廣解代理人的搜尋範圍，也使得演化不至於長期困在區域搜尋中。

而仿水流演算法設計之初發現水流的特性使用於連續型問題的求解效能較佳，但是使用於離散型問題則常落於區域搜尋。而探究其原因發現是因為離散型問題的特性不適用仿水流演算法最初的設計，導致解的演化過於保守，因此本研究希望能承襲仿水流演算法的架構，設計一有效求解零工式生產排程問題的仿水流演算法。

2.1.2 遺傳演算法

遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)是由 Holland 於 1975 年提出，在所有啟發式演算法的發展中算是一個發展相當成熟的演算法，至今已被廣泛用於求解各類優化問題。設計的原理是當生物在繁衍後代時，會經由遺傳行為將親代的基因複製給後代，而經由自然界汰弱存強的機制，存留下的個體都具有較好的競爭優勢和適應力；演化的過程有時會出現突變的情形發生，突變會導致個體突然死亡或是擁有更強的適應力，故能成功存活到下一代的便是屬於較優良的個體。

遺傳演算法是由一個以上的獨立機體(organism)集合而成，且每個機體是由一條或多條的染色體(chromosome)構成，一條染色體就是代表一個解代理人，而每一條染色體則是由一序列的基因(gene)所組成。通常會使每一個基因值代表問題中的變數值，因此每個解是以一序列的變數值代表。而演化機制是由機體內的染色體經由複製(reproduction)、交配(crossover)、和突變(mutation)等運算過程產生子代(offspring)，並藉由每個機體內的染色體值計算該機體的適存值(fitness)，適存值則是決定該機體可以存活到下一代的機率。進行遺傳演化前，必須將問題的變數編碼(encoding)成基因序列進而組成染色體；而在計算適存值時，則須將染色體解碼(decoding)成問題的解以估算解的品質。編碼方式依問題型式而有所不同，例如有

整數編碼和實數編碼等，而不同的編碼方式必須設計不同的交配和突變演算方式，以適用於求解各類型的優化問題。

遺傳演算法的演化搜尋過程主要是藉由保存較佳的染色體到下一代繼續進行演化，在解空間中視以跳動較大的方式移動，因此針對解空間龐大的問題可以較廣泛的搜尋，但是交配的過程並不能保證產生較好的解，且在演化趨於穩定時，染色體內的基因會趨向一致性，加上其代表變數的基因是以一序列的型式作為解代理人導致會出現序列不同但是解碼後問題的解卻是相同的情形，因此會造成搜尋的浪費以及困入區域最佳解中。

2.1.3 蟻拓搜尋法

蟻拓最佳化(Ant Colony Optimization, ACO)技術是一對於具有類似蟻拓優化演算的演算法統稱，而第一個發展的是由 Dorigo 等人於 1996 年開發出的螞蟻系統 (Ant System, AS)，其設計的靈感來自於自然界中螞蟻覓食的行為。每一隻螞蟻代表一個解代理人，而螞蟻經過的路徑則代表一個解的建立。

螞蟻會以隨機的方式找尋一條路徑離開巢穴去尋找食物，而在螞蟻移動的過程中會沿路釋放費洛蒙(pheromone)作為訊號，除了可以引導螞蟻返回巢穴之外，當螞蟻找到食物時，這些找到食物的螞蟻便會在返回巢穴的路徑上增添額外的費洛蒙供其他螞蟻依循去尋找食物。費洛蒙會隨著時間而消失，在最短的路徑上螞蟻往來較為頻繁，因此可以累積較多的費洛蒙。隨著部分路徑的所累積的費洛蒙，越來越多的螞蟻會逐漸朝費洛蒙強的路徑行走，而螞蟻越多則其留下的費洛蒙也同樣的增加，因此有正向循環的回饋特色。

費洛蒙的累積機制雖然可以使螞蟻朝一較佳的路徑移動，但是因此常會因為

過早收斂而困於區域最佳解中。

2.1.4 粒子群優化演算法

粒子群優化演算法(Particle Swarm optimization, PSO)是由 Kennedy 和 Eberhart 於 1995 年所提出，其演算概念是仿照自然界中生物的群體行為，群居的生物如鳥類或魚類在移動的過程中可以透過群體間特定的訊息傳達方式將自身的訊息傳給整個群體，因此每個個體之間可以產生回饋而使得整個團體的行動方向一致。

粒子群優化演算法將一個粒子視為一個解代理人，每個粒子會參考自己在移動過程中的經驗以及群體的經驗來決定移動的方向，並在移動之後傳遞自己的經驗給群體中的所有個體，因此在群體彼此的影響和經驗回饋之下逐步朝較佳的方向移動，故粒子的移動模式可以分為認知模式(cognition-only model)和社會模式(social-only model)。在認知模式之下，每個個體有著自身的經驗，根據自身的經驗可以找尋曾經搜尋過的最佳解資訊；而在社會模式之下，個體之間會彼此分享經驗，因此整個群體皆可得知迄今搜尋過最佳解的資訊。

2.2 零工式生產排程問題

零工式生產排程問題(Job-Shop Scheduling Problem; JSP)是一個在工廠常見的實務問題。問題假設工廠有 m 台加工機器和 $\bar{j}$ 件工作須進行加工，且每一件工作都有 $\bar{p}$ 道加工步驟，而這些加工步驟因為技術的限制或是製程的要求，必須按照預先排定的加工順序來加工，且分別在 m 台機器上加工，而加工時間已知。而問題的最佳解是求出一個排程結果可以完成所有的加工步驟且使得最晚完工時間最小化。

零工式生產排程問題每件工作的加工步驟彼此之間有著前行限制關係，除此之外，因為每台機器都會加工每件加工的一道加工步驟，因此若是以機器的角度作為考量，則機器上加工步驟之間的排序也形成前行限制關係。而這兩種前行限制關係彼此之間也會形成限制關係形成前行階層的概念，除了 Surekha 和 S.Sumathi (2010)曾經略為提過之外，鮮少有文獻針對零工式生產排程問題的特性加以研究，因此針對這些前行限制的特性，本研究將在 3.3 節做深入的探討。

針對零工式生產排程問題所開發的啟發式演算法不在少數，但根據本研究的發現，許多文獻仍以添加區域搜尋的方式來增加求解的效果，且多數的作法是將演算法修改成適用於求解零工式生產排程問題，鮮少有針對零工式生產排程問題的問題特性做深入的研究。因此本研究希望可以針對零工式生產排程問題的特性做深入的研究，並利用這些特性來設計仿水流演算法的演化方式。

2.3 求解零工式生產排程問題的編碼法

編碼的目的即是使解代理人以特殊的形式存在於演算法中。常見用於求解零工式生產排程問題的編碼法是將加工步驟排成一序列代表一個解代理人的加工步驟排序編碼法。但是加工步驟排序編碼法的會導致演化過程中出現排序不同但是解碼後的解是相同的情形，因此會導致重複搜尋的浪費。故本研究研擬出機器加工步驟排序編碼法，藉由此編碼法可以降低重複搜尋的浪費，並針對此編碼法設計適用於仿水流演算法中的演化技術。

2.4 文獻小結

在過往的文獻中，多數使用啟發式演算法的研究都是直接將演算法的細節修

改成適用於所求解的問題，鮮少針對問題的特性做深入的探討。本研究希望藉由深入探討零工式生產排程問題相關的前行限制，並研擬出更有效率的編碼方式，再針對編碼方式和問題的限制設計仿水流演算法求解零工式生產問題的技術。



第 3 章 零工式生產排程問題及其仿水流演算求解法

零工式生產排程問題(Job-shop Scheduling Problems; JSP)是一個在工廠常見的實務問題。問題假設工廠有 $\bar{m}$ 台加工機器和 $\bar{j}$ 件工作須進行加工，且每一件工作都有 $\bar{p}$ 道加工步驟，而這些加工步驟因為技術的限制或是製程的要求，必須按照預先排定的加工順序來加工，且分別在 $\bar{m}$ 台機器上加工，而加工時間已知。

一般最常用於求解零工式生產排程問題的方法包括了有混整數規劃，分支界線法及啟發式演算法...等，本研究旨在開發求解 JSP 的仿水流優化演算求解法(Water Flow-like Algorithm, WFA)。WFA 係藉由仿照水流流動的一連串物理行為，從初始單股水流代表的初始解開始演化。演化作業包括分流移步、匯流、蒸發及降雨等四大步驟形成一個演化循環。其最大的特點在於能動態調整解代理人的數量。本研究承襲仿水流優化演算法的概念開發求解零工式生產排程問題的系統，簡稱 WFA4JSP (Water Flow-like Algorithm for Job-shop Scheduling Problems)。

首先，本章 3.1 節將先詳述零工式生產排程問題並定義其數學模型，接著 3.2 節會針對編碼方式做探討，而 3.3 節則是說明零工式生產排程問題的前行階層特性，最後 3.4 節將會細述仿水流演算法求解零工式生產問題的細節，並在 3.5 節繪製 WFA4JSP 的整個演算流程圖。

3.1 零工式生產排程問題的定義及其數學模型

JSP 是由 $\bar{m}$ 台功能不同的機器(machine)與 $\bar{j}$ 件不同的工作(job)所組成的排序問題(sequencing problems)。假設 M 是所有機器的集合，且機器以索引 m 表示，則

$M = \{1, 2, \dots, \bar{m}\}$ ， $m \in M$ 。同樣地，假設 J 是所有工作的集合，且工作以索引 j 表示，則 $J = \{1, 2, \dots, \bar{j}\}$ ， $j \in J$ 。每一個工作 j 包含了 $\bar{p}$ 道加工步驟，分別由 $\bar{m}$ 台機器加工，且 $\bar{p} = \bar{m}$ ，假設 p 是加工步驟的索引， $p = 1, 2, \dots, \bar{p}$ ，則 o_{jp} 代表工作 j 的第 p 道加工步驟， $o_{jp} \in M$ ，且令 O 是所有加工步驟的集合，則 $O = \{o_{jp} \mid j = 1, 2, \dots, \bar{j}; p = 1, 2, \dots, \bar{p}\}$ 。每一道加工步驟 o_{jp} 都有一個已知的加工時間 t_{jp} ，且 $t_{jp} > 0$ ，而每一道加工步驟 o_{jp} 都需要一台機器 w_{jp} 來進行加工，且 $w_{jp} \in M$ 。舉例來說，假設 $\bar{j} = 3$ 且 $\bar{p} = \bar{m} = 4$ ，則令陣列

$$\mathbf{w} = [w_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}} = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 4 \end{bmatrix}$$

代表每一道加工步驟所需要的機器，且令陣列

$$\mathbf{t} = [t_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}} = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 & 4 \\ 5 & 6 & 2 & 4 \\ 1 & 5 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

代表每一道加工步驟所需要的加工時間。

JSP 的排程優劣，可以不同的衡量法評估。本研究以最常見的最晚完工時間 (makespan)，或稱作總流程時間，來衡量排程優劣。令 s_{jp} 是加工步驟 o_{jp} 的加工起始時間，則 $S = \{s_{jp} \mid \forall j \in J, p = 1, 2, \dots, \bar{p}\}$ 代表一個 JSP 排程，故令最晚完工時間

$$f(S) = \max_{\forall j \in J} (s_{j\bar{p}} + t_{j\bar{p}}) \quad (3.1)$$

因此 JSP 的目標便是在每一機器上尋找一個可行的加工順序，使得 $f(S)$ 最小化。

JSP 有許多的限制情形，包括：

1. 一件工作在同一時間只能在一台機器上加工。

2. 一台機器在同一時間只能加工一個作業。
3. 加工過程中不允許插位事件發生。
4. 每一件工作的加工序列及每一道加工步驟的加工時間已知。
5. 每一個工作恰只經過每一台機器一次。
6. 每一個工作都可以在任何時間開始加工，故不存在著加工起始時間的限制。
7. 機器可以在任何時間開始進行加工作業，故沒有暖機前置時間的限制。
8. 每一個工作必須等待下一道加工步驟需要的機器閒置時才可開始加工。
9. 每一種機器都只有一台。
10. 所有的工作均同等重要，無優先順序之差別。

一個合理的排程解果不可違反上述的限制條件。

3.2 JSP 解代理人的編碼及模型

編碼的目的，即是使解代理人以特殊的形式存在於演算法中。常見用於求解 JSP 的編碼法是以所有加工步驟排成一序列代表一個解的加工步驟排序編碼法 (Operation-Sequence Coding, OSC)。一般來說，OSC 是以工作索引 j 來表示工作 j 的加工步驟，故每個索引 j 都會在序列中出現 $\bar{p} = \bar{m}$ 次，且此序列代表每一道加工步驟在解碼過程中加入排程的順序，即必須按照此序列逐一指派加工步驟到機器上進行加工，因此若序列左端代表第一個加工的加工步驟而序列右端代表最後一個加工的加工步驟，則由左至右工作索引 j 第 p 次出現所代表的加工步驟是工作 j 第 p 道加工步驟。OSC 以陣列 $\mathbf{x} = [x_c]_{1 \times \bar{m}j}$ 代表一個 JSP 的解，且 $x_c \in J$ ， $c = 1, 2, \dots, \bar{m}j$ 。

舉例來說，假設 $\bar{j} = 3$ 且 $\bar{p} = \bar{m} = 2$ ，則

$$\mathbf{x} = [x_c]_{1 \times 6} = [3 \ 2 \ 2 \ 1 \ 3 \ 1]$$

即代表一個 JSP 的解代理人，而按照此序列可以根據直接知道序列中每一個索引所代表的加工步驟，即

$$\mathbf{x} = [3 \ 2 \ 2 \ 1 \ 3 \ 1] = [o_{31} \ o_{21} \ o_{22} \ o_{11} \ o_{32} \ o_{12}]。$$

根據 OSC 的定義，在解碼的過程中， x_c 所代表的加工步驟必須等 x_{c-1} 所代表的加工步驟被排入排程加工之後才可以接著被排入排程，若以單向實線箭頭表示 OSC 中加工步驟被排入排程的順序關係，圖 3.1 便可說明一個 OSC 和其排程之間的關係，即解碼的過程必須按照 $o_{31} \rightarrow o_{21} \rightarrow o_{22} \rightarrow o_{11} \rightarrow o_{32} \rightarrow o_{12}$ 的順序來建立排程。

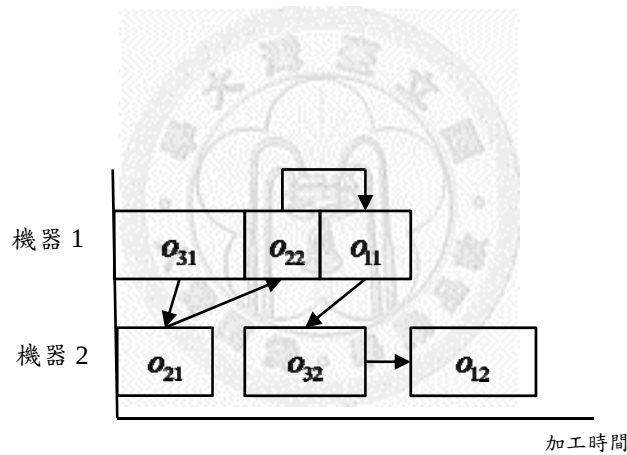


圖 3.1 OSC 範例 $\mathbf{x} = [3 \ 2 \ 2 \ 1 \ 3 \ 1]$ 其加工步驟排序和排程結果示意

但是以 OSC 作為編碼法卻會有排序不同但排程結果卻相同的重複搜尋情形發生。舉例來說，假設 $\mathbf{x}' = [2 \ 3 \ 2 \ 1 \ 3 \ 1]$ 且其排程如圖 3.2，則可發現和圖 3.1 中的排程結果是相同的，只有加工步驟被排入排程的順序不同而已。

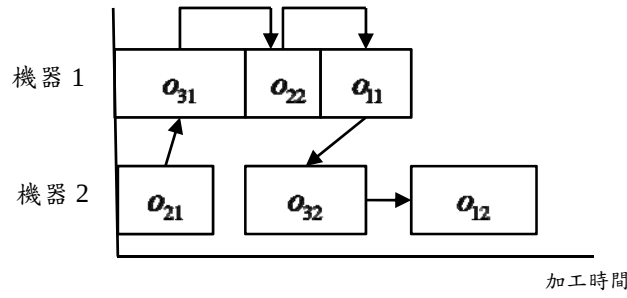


圖 3.2 OSC 範例 $\mathbf{x}' = [2 \ 3 \ 2 \ 1 \ 3 \ 1]$ 其加工步驟排序及排程結果示意

為了增加求解效率，本研究提出以機器為基的機器加工步驟排序編碼法 (Machining-Sequence Coding, MSC)。對一個 $\bar{m}$ 台機器和 $\bar{j}$ 件工作的 JSP，每個工作都有 $\bar{p}$ 道加工步驟且分別在 $\bar{m} = \bar{p}$ 台機器上加工，換句話說，每台機器必須要分別加工每一個工作的其中一道加工步驟，共 $\bar{j}$ 道加工步驟，因此本研究提出的 MSC 是以工作索引 j 來代表每一台機器上的加工步驟。MSC 以陣列 $\mathbf{x} = [x_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{j}}$ 代表一個 JSP 的解，且 $x_{mc} \in J$ 。因為每台機器必須要分別加工每一個工作的其中一道加工步驟，故對機器 m 而言， $x_{mc} \neq x_{mc'}$ ， $\forall c, c' \in J$ ，而第 m 列的元素便是代表在機器 m 上加工的加工步驟其工作的索引序列。假設 $\bar{m} = 4$ 且 $\bar{n} = 3$ ，則

$$\mathbf{x} = [x_{mc}]_{4 \times 3} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

便是一個 MSC 的範例。在此範例中，第一行的元素 $[2 \ 1 \ 3]$ 代表在機器 1 上加工的加工步驟按照順序分別是屬於工作 2、工作 1、及工作 3 的加工步驟。因為 MSC 每一列即代表一台機器上所有加工步驟的加工順序，不同的順序即有不同的排程結果，因此 MSC 並不會出現像 OSC 重複搜尋的情形。比較使用不同編碼法的求

解效率，本研究使用的 MSC 有 $(\bar{j}!)^{\bar{m}}$ 個的獨立的解，而 OSC 則有 $(\bar{j}\bar{m})!/(\bar{m}!)^{\bar{j}}$ 個。

以此範例來舉例，則 MSC 有 1296 個獨立的解且每個解的排程結果都不同，而 OSC 卻有 34650 個獨立的解但許多的解雖然排序不同但排程結果卻相同，因此本研究使用 MSC 相較於其他編碼法的求解效率較佳。

3.3 JSP 的階層特性

階層(level)是 JSP 排程結果的一個特性，本研究藉此特性由母水流的 MSC 衍生出一股合理的子水流 MSC。JSP 每一個工作 j 都有 $\bar{p} = \bar{m}$ 道加工步驟，而這些加工步驟彼此之間都存在著前行限制(precedence constraints)關係，舉例來說， o_{jp} 必須在 $o_{j,p-1}$ 完成加工後才可以進行加工，本研究以由前行加工步驟指向後繼加工步驟的單向箭頭代表兩個加工步驟之間的前行限制關係，因此便可得到一個以加工步驟為節點的前行限制關係圖。本研究定義同一工作不同加工步驟之間的前行限制關係為加工步驟前行限制(operational precedence constraints)，並以實線箭頭在圖中表示。圖 3.3 即是一個 $\bar{j} = 3$ 且 $\bar{p} = \bar{m} = 4$ 的 JSP 範例加工步驟前行限制階層關係圖。

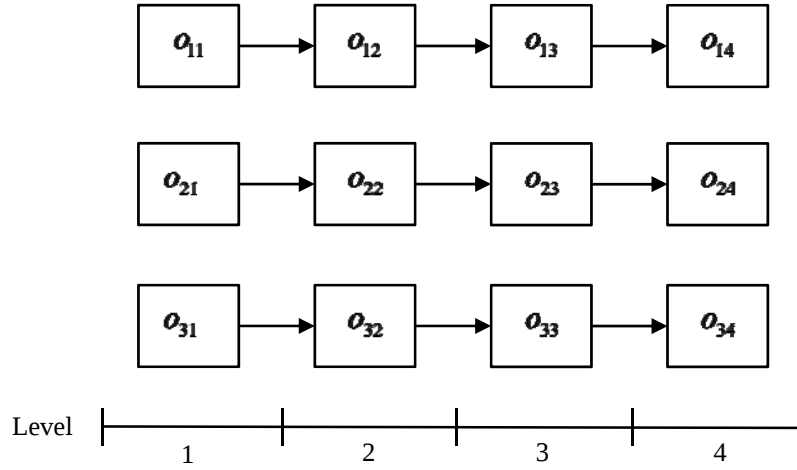


圖 3.3 JSP 加工步驟前行限制階層關係示意

本研究提出以前行階層(precedence level)來區別加工步驟之間的前行限制關係。

由於 JSP 每個工作都有 $\bar{p}$ 道加工步驟依序進行加工，故最初會自然形成 $\bar{p}$ 個前行階層，因此每道加工步驟都會有一個以大於 1 的整數來代表的階層值。定義陣列 $\mathbf{l}$ 是所有加工步驟的階層值，故

$$\mathbf{l} = [l_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}}, l_{jp} \in \mathbb{Z}, l_{jp} > 0, \quad (3.3)$$

式中 l_{jp} 是代表加工步驟 o_{jp} 的前行階層值。以圖 3.3 為例，則所有加工步驟的初始階層值

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}。$$

從圖 3.3 可以看出每道加工步驟的階層值，而兩個加工步驟之間代表前行限制關係的單向箭頭必須要由左指向右，並且假設每個工作的起始虛擬節點的階層值設定為無窮小而結尾虛擬節點的階層值則設定為無窮大。

以 MSC 作為編碼法的解 $\mathbf{x}$ 中，每台機器上都有 $\bar{j}$ 道加工步驟，機器必須依序

進行加工，因此每台機器上屬於不同工作的加工步驟彼此之間也存在著前行限制關係。以前面提到的例子來說明， $\mathbf{x}$ 的第一行元素是 $[2 \ 1 \ 3]$ ，這三個屬於不同工作的加工步驟之間存在著兩個前行限制關係，第一個是從 x_{11} 到 x_{12} ，也就是從工作 2 的加工步驟到工作 1 的加工步驟；第二個是從 x_{12} 到 x_{13} ，也就是從工作 1 的加工步驟到工作 3 的加工步驟。因此以 MSC 作為編碼法會造成加工步驟自然形成機器加工前行限制(machining precedence constraints)關係，故必須在前行限制關係圖中增加代表因為機器加工所形成前行限制關係的單向箭頭，表示加工步驟在機器上的加工順序。若增加代表機器前行限制的單向箭頭而造成前行限制關係圖中加工步驟出現循環的情形，則 $\mathbf{x}$ 便是一個不可行解。另一方面，這些增加的機器前行限制關係箭頭會增加階層的數目，同時也會增加後繼加工步驟的階層值。

而為了在圖 3.3 加工步驟前行限制關係圖中增加代表機器前行限制關係的箭頭，則必須要知道每台機上的加工步驟其在工作中的順位。令陣列 $\mathbf{q}$ 代表所有機器上的每個工作的加工步驟其在工作中的順位，故

$$\mathbf{q} = [q_{mj}]_{\bar{m} \times \bar{j}}, m = 1, 2, \dots, \bar{m}; j = 1, 2, \dots, \bar{j}; q_{mj} \in \{1, 2, \dots, \bar{p}\}, \quad (3.4)$$

式中 q_{mj} 代表工作 j 在機器 m 上的加工步驟在工作 j 加工步驟中的順位，且 $q_{mj} \neq q_{m'j}$ 。

$[q_{mj}]$ 可以由 $[w_{jp}]$ 得到，因為加工步驟 o_{jp} 必須在機器 w_{jp} 加工，且其加工的順位是 p ，則 $q_{w_{jp}, j} = p$ 。令 ConstructProcessingOrders() 是建構 $\mathbf{q}$ 的程序，則其演算步驟如下。

ConstructProcessingOrders(in $\mathbf{w}$, out $\mathbf{q}$)

```

1  for  $j \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
2      for  $p \leftarrow 1$  to  $\bar{p}$ 
3           $m' \leftarrow w_{jp}$ 
4           $q_{m'j} \leftarrow p$ 
5      end for
6  end for

```

以上一節的範例為說明，則

$$\mathbf{q} = [q_{mj}]_{4 \times 3} = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 3 \\ 3 & 2 & 2 \\ 4 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 4 \end{bmatrix}。$$

一旦知道每台機器上所加工的加工步驟其加工順位後，便可以根據加工順位來指派加工步驟。舉例來說，工作 x_{mc} 是在機器 m 上加工且其代表的加工步驟加工順位 $q_{m,x_{mc}} = q'$ ，則此加工步驟便是 $o_{x_{mc},q'}$ 。以前一節的例子來說明，在機器 1 上的工作索引序列是 $[2 \ 1 \ 3]$ ，則其代表的加工步驟是 $[o_{2,q_{12}} \ o_{1,q_{11}} \ o_{3,q_{13}}] = [o_{24} \ o_{12} \ o_{33}]$ ，因此便可以在前行限制關係圖中增加由 o_{24} 指向 o_{12} 以及由 o_{12} 指向 o_{33} 的單向箭頭。而為了區分機器前行限制關係和加工步驟前行限制關係的不同，本研究以單向虛線箭頭來表示機器上加工步驟間的機器前行限制關係，因此圖 3.3 便可更新成如圖 3.4。

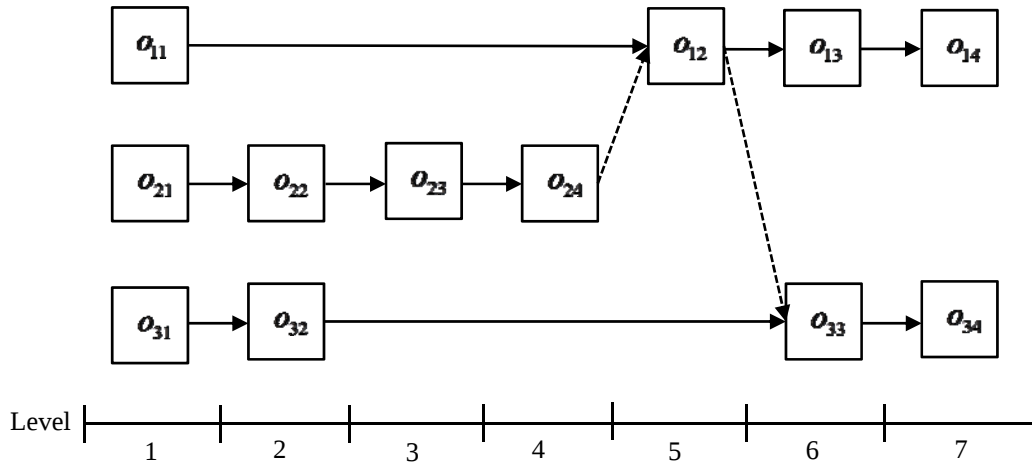


圖 3.4 加入代表機器 1 的前行限制關係單向虛線箭頭結果

由圖 3.4 可以得知由於加入機器的前行限制關係，所以階層數目和後繼加工步驟的階層值都增加了，因此所有加工步驟的階層值

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 6 & 7 \end{bmatrix}。$$

接著加入機器 2 的前行限制關係。機器 2 上的工作索引序列是 $[3 \ 2 \ 1]$ ，其所代表的加工步驟是 $[o_{3,q_{23}} \ o_{2,q_{22}} \ o_{1,q_{21}}] = [o_{32} \ o_{22} \ o_{13}]$ ，因此必須增加由 o_{32} 指向 o_{22} 以及由 o_{22} 指向 o_{13} 的單向虛線箭頭。因此圖 3.4 便可更新成如圖 3.5。

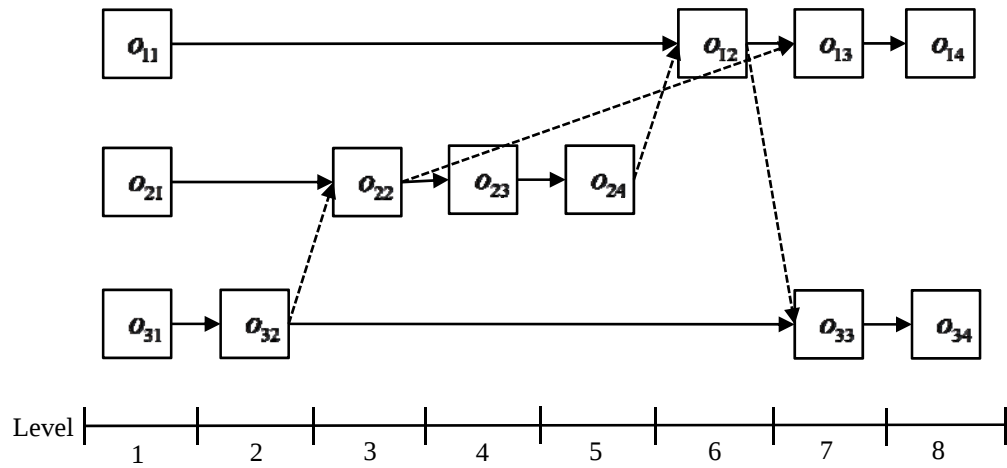


圖 3.5 加入代表機器 2 的前行限制關係單向虛線箭頭結果

接著繼續加入機器 3 的前行限制關係。機器 3 上的工作索引序列是 $[2\ 3\ 1]$ ，其所代表的加工步驟是 $[o_{2,q_{32}}\ o_{3,q_{33}}\ o_{1,q_{31}}] = [o_{21}\ o_{31}\ o_{14}]$ ，因此必須增加由 o_{21} 指向 o_{31} 以及由 o_{31} 指向 o_{14} 的單向箭頭。因此圖 3.5 便可更新成如圖 3.6。

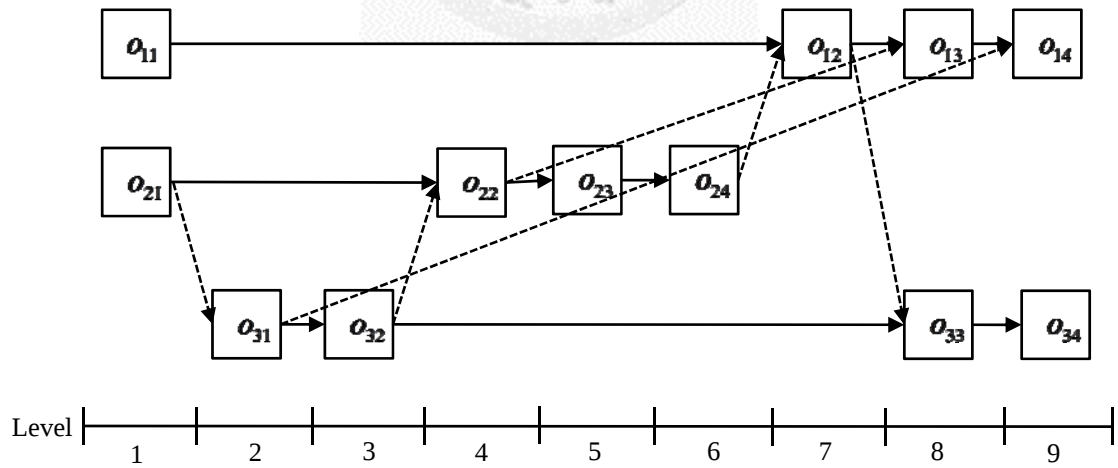


圖 3.6 加入代表機器 3 的前行限制關係單向虛線箭頭結果

最後加入機器 4 的前行限制關係。機器 4 上的工作索引序列是 $[2\ 1\ 3]$ ，其所代

表的加工步驟是 $[o_{2,q_{42}} \ o_{1,q_{41}} \ o_{3,q_{43}}] = [o_{23} \ o_{11} \ o_{34}]$ ，因此必須增加由 o_{23} 指向 o_{11} 以及由 o_{11} 指向 o_{34} 的單向箭頭。因此圖 3.6 便可更新成如圖 3.7。

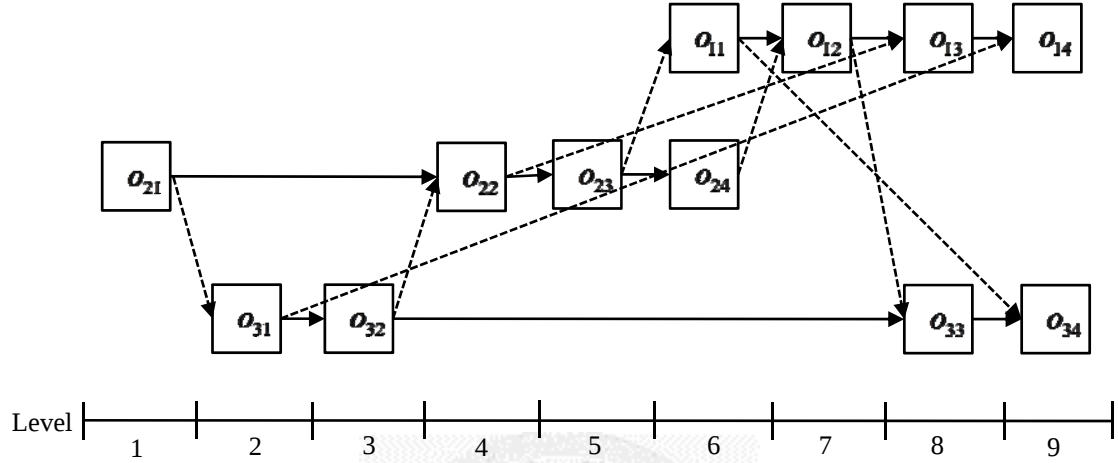


圖 3.7 加入代表機器 4 的前行限制關係單向虛線箭頭結果

從圖 3.7 可以看出所有增加代表機器前行限制關係的箭頭並沒有產生循環的情形，因此 $\mathbf{x}$ 是一個可行解且最後所有加工步驟的階層值

$$\mathbf{l} = \begin{bmatrix} 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 4 & 5 & 6 \\ 2 & 3 & 8 & 9 \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

而為了進行所有加工步驟階層值的計算以及驗證解 $\mathbf{x}$ 的合理性，則必須要探討前行限制關係圖的資料結構。令 a_{jp} 是工作 j 中加工步驟 o_{jp} 的後繼加工步驟 (succeeding family operation)，故

$$a_{jp} = \begin{cases} \text{null} & , \text{ if } p = \bar{p} \\ o_{j,p+1} & , \text{ otherwise} \end{cases} ; \forall j, p. \quad (3.6)$$

再令 b_{jp} 是在機器 w_{jp} 上加工步驟 o_{jp} 的後繼加工步驟 (succeeding machining

operation) ，故

$$b_{jp} \in null \cup \{o_{j'p'} \mid j' \neq j; j' = 1, 2, \dots, \bar{j}; p' = 1, 2, \dots, \bar{p}\}; \forall j, p \text{ 。} \quad (3.7)$$

再令陣列 $\mathbf{a} = [a_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}}$ 和 $\mathbf{b} = [b_{jp}]_{\bar{j} \times \bar{p}}$ ， $\mathbf{a}$ 可從 JSP 原始問題的輸入資料求得，例如加

工步驟 o_{11} 的後繼加工步驟是 o_{12} ，故 $a_{11} = o_{12}$ ；而 $\mathbf{b}$ 則是由一個解 $\mathbf{x}$ 而求得，換句話

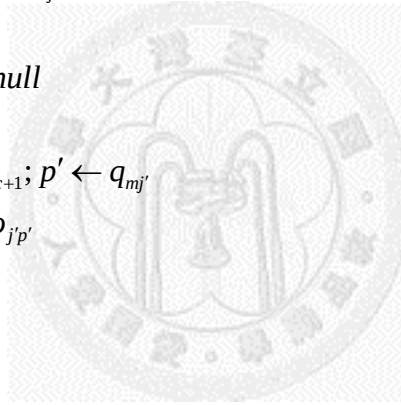
說，每一個解 $\mathbf{x}$ 都有一個自己的 $\mathbf{b}$ 。令 ConstructSucceedingMachiningOperations()

是由 $\mathbf{x}$ 建立 $\mathbf{b}$ 的程序，則演算細節如下。

ConstructSucceedingMachiningOperations(in $\mathbf{x}$, out $\mathbf{b}$)

```

1  for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
2    for  $c \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
3       $j^* \leftarrow x_{mc}; p^* \leftarrow q_{mj^*}$ 
4      if  $c = \bar{j}$ 
5         $b_{j^*p^*} \leftarrow null$ 
6      else
7         $j' \leftarrow x_{m,c+1}; p' \leftarrow q_{mj'}$ 
8         $b_{j^*p^*} \leftarrow o_{j'p'}$ 
9      end if
10   end for
11 end for
12 return  $\mathbf{b}$ 
```



令 CheckValidityAndSetLevels() 是計算所有加工步驟階層值及驗證解 $\mathbf{x}$ 合理性

的程序。若 $\mathbf{x}$ 是一個合理解則會傳回 true ，同時也會傳回所有加工步驟的階層值 $\mathbf{l}$ ，

反之則傳回 false ，詳細的演算程序如下。

CheckValidityAndSetLevels(in $\mathbf{a}$, in $\mathbf{b}$, in $\mathbf{x}$, out $\mathbf{l}$)

```

1   $l_{jp} \leftarrow p, \forall j = 1, 2, \dots, \bar{j}, \forall p = 1, 2, \dots, \bar{p}$ 
2  for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
3    for  $c \leftarrow 1$  to  $\bar{j} - 1$ 
4       $j^* \leftarrow x_{mc}; p^* \leftarrow r_{mj^*}$ 
5       $j' \leftarrow x_{m,c+1}; p' \leftarrow q_{m,j'}$ 
6       $level \leftarrow l_{j^*p^*} + 1$ 
```

```

7         if PropergateLevelUpdate( $o_{j'p'}$ , level,  $o_{j^*p^*}$ , a, b) = false
8             return false
9         end if
10    end for
11 end for
12 return true

```

演算程序中，第 4 行是代表機器 m 上兩加工步驟之間的前行加工步驟 $o_{j^*p^*}$ ，第 5 行則是代表後繼加工步驟 $o_{j'p'}$ ；而第 6 行是表示後繼加工步驟的階層值至少要比前行加工步驟的階層值多 1；第 7 行是把相關參數放進 PropergateLevelUpdate() 做階層值的更新計算。

當加入代表機器前行限制關係的單向虛線箭頭時，兩加工步驟中的後繼加工步驟的階層值必須要大於前行加工步驟，假設前行加工步驟的階層值是 l_s ，而後繼加工步驟的階層值是 l_t ，若 $l_t \leq l_s$ ，則 l_t 必須調整為 $l_s + 1$ 。而當一個後繼加工步驟的階層值更新的時候，也必須同時更新其後繼加工步驟的階層值，使其後繼加工步驟的階層值至少比前行加工步驟的階層值多 1。因此階層值便是由加入的前行限制關係起始加工步驟逐層向後繼加工步驟更新。CheckValidityAndSetLevels() 演算程序第 7 行中的 PropergateLevelUpdate() 便是更新一個加工步驟的階層值和遞迴更新其後繼加工步驟階層值的程序。若解 x 是一個合理解，則整個更新程序會在最後一個節點終止，反之若是一個不合理解，則加入圖中的箭頭便會產生循環，使得演算程序無限的執行。因此，當要加入代表機器前行限制關係的箭頭時，必須同時傳入起始加工步驟到遞迴的更新程序 PropergateLevelUpdate() 中，藉以判斷是否在更新過程中產生了無窮迴圈，若是產生迴圈則傳回 false 並結束更新程序，詳細的演算程序如下。

PropergateLevelUpdate($o_{jp}, level, o_{j^*p^*}, \mathbf{a}, \mathbf{b}$)

```

1  if  $l_{jp} \geq level$ 
2      return true
3  end if
4   $l_{jp} \leftarrow level$ 
5  if  $a_{jp} \neq null$ 
6      if  $a_{jp} = o_{j^*p^*}$ 
7          return false
8      end if
9      if PropergateLevelUpdate( $a_{jp}, level + 1, o_{j^*p^*}, \mathbf{a}, \mathbf{b}$ ) = false
10         return false
11     end if
12 end if
13 if  $b_{jp} \neq null$ 
14     if  $b_{jp} = o_{j^*p^*}$ 
15         return false
16     end if
17     if PropergateLevelUpdate( $b_{jp}, level + 1, o_{j^*p^*}, \mathbf{a}, \mathbf{b}$ ) = false
18         return false
19     end if
20 end if
21 return true

```

第 1 至 3 行表示後繼加工步驟的階層值 l_{jp} 若至少比前行加工步驟的階層值多 1，

則表示不用更新後繼加工步驟，因此傳回 true 並離開演算程序；如果 $l_{jp} < level$ ，

便如第 4 行將 l_{jp} 更新為 $level$ ，而當加工步驟 o_{jp} 的階層值更新後，則必須要同步更

新其後繼加工步驟。第 5 至 12 行是針對同一工作的其他後繼加工步驟進行階層值

的更新，其中第 6 行是檢查更新的過程是否產生迴圈， $a_{jp} = o_{j^*p^*}$ 表示後繼加工步

驟 a_{jp} 回到起始加工步驟 $o_{j^*p^*}$ 產生了迴圈，則傳回 false 並停止整個更新程序；而第

9 行則代表若還有後繼加工步驟則繼續遞迴更新。而第 13 至第 20 行則是針對同一

機器上的其他後繼加工步驟進行階層值的更新。第 14 行同樣是表示後繼加工步驟

b_{jp} 回到起始加工步驟 $o_{j^*p^*}$ 因此產生了迴圈，則傳回 false 並停止整個更新程序；而

第 17 行則代表若還有後繼加工步驟則繼續遞迴更新。當所有後繼加工步驟的階層值都完成更新後，便結束更新程序。

如同前面所敘述的，一個解 $\mathbf{x}$ 若為合理解，則其前行限制關係圖中的箭頭並不會產生任何循環的情形，而每個加工步驟根據前行限制關係圖都可以配置一個有效的階層值。一個排程程序可以根據陣列 $\mathbf{l}$ 中每個加工步驟的階層值逐層指派加工步驟 o_{jp} 的加工起始時間 s_{jp} ，藉此完成一個 JSP 的解 $\mathbf{x}$ 所對應到的排程結果。令 SetSchedule() 是建立一個解 $\mathbf{x}$ 所對應到的排程結果的程序，詳細的演算步驟如下。

SetSchedule(in $\mathbf{l}$, out $\mathbf{s}$)

```

1   $T_m^M \leftarrow 0, \forall m=1, 2, \dots, \bar{m}$ 
2   $T_j^J \leftarrow 0, \forall j=1, 2, \dots, \bar{j}$ 
3   $count \leftarrow 0; level \leftarrow 0$ 
4  while  $count < \bar{j} \bar{p}$ 
5      for  $j \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
6          for  $p \leftarrow 1$  to  $\bar{p}$ 
7              if  $l_{jp} = level$ 
8                   $m' \leftarrow w_{jp}$ 
9                   $s_{jp} \leftarrow \max(T_{m'}^M, T_j^J)$ 
10                  $T_j^J \leftarrow s_{jp} + t_{jp}$ 
11                  $T_{m'}^M \leftarrow T_j^J$ 
12                  $count \leftarrow count + 1$ 
13             end if
14         end for
15     end for
16      $level \leftarrow level + 1$ 
17 end while
```

第 1 行是將每台機器的可排程時間 T_m^M 初始化為 0，而第 2 行則是將每個工作的可排程時間 T_j^J 初始化為 0。舉例前述的例子來說明，從式(3.5)已知的 $\mathbf{l}$ 可以得知加工步驟 o_{21} 的階層值是 1 表示是最早開始被排入排程的加工步驟，因此 $s_{21} \leftarrow 0$ 。

而因為 $w_{21}=3$ 且 $t_{21}=5$ ，故工作 2 的可排程時間 $T_2^J \leftarrow s_{21} + t_{21} = 0 + 5 = 5$ 且機器 3 的

可排程時間 $T_3^M \leftarrow 5$ 。接著排入階層值是2的加工步驟，即 o_{31} 。因為 $w_{31} = 3$ 且 $t_{31} = 1$ ，故 $s_{31} \leftarrow \max(T_3^M, T_3^J) = \max(5, 0) = 5$ ，則可更新 $T_3^J = T_3^M \leftarrow s_{31} + t_{31} = 5 + 1 = 6$ 。逐層指派每個加工步驟的加工起始時間，則最後便可得到以機器為基的排程結果甘特圖(Gantt chart)如圖 3.8，且最晚完工時間 $f(S) = 31$ 。

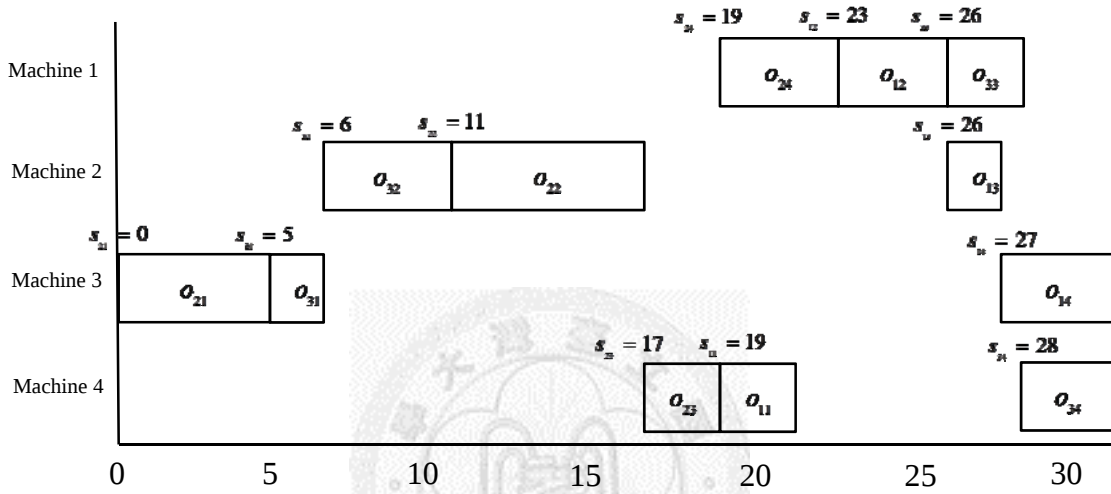


圖 3.8 範例 JSP 其以機器為基的排程結果甘特圖

本研究提出以 MSC 作為 WFA 求解 JSP 的編碼法。定義解 $\mathbf{x} = [x_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{j}}$ 代表一股水流的位置，且 $x_{mc} \in J$ 。而在 WFA 的分流移步作業中，母水流會先複製自身的位置，接著朝不同的方向移動產生不同的位置藉此衍生出其子水流。在連續型問題中，水流的移步可以透過加入速度向量到位置陣列中而得到子水流的位置，但是因為 JSP 是屬於離散型問題，移步作業必須要考慮前行限制關係，所以不能使用一般的物理概念得到新的水流位置。因此，根據本研究定義的 MSC，分流移步作業若是要由水流位置 $\mathbf{x}$ 移動到新水流位置 $\mathbf{x}'$ ，則必須要改變機器上工作序列的排序，但任意改變排序則有可能形成不合理的，因此本研究首先提出機器加工序列

交換法(machining sequence swap)來說明產生不合理的狀況。在本研究使用的 MSC 編碼法中，一個解 x 中的每一列即代表一台機器上加工步驟的排序，而不同的排序會形成不同的解和不同的排程結果，然而一個合理解的排序經過任意交換加工步驟的順序卻也有可能形成一個不合理的解，因此必須使用上述提到的 CheckValidityAndSetLevels() 程序來檢驗解的合理性。然而透過參考 I 中所有加工步驟的階層值便可避免因為任意改變加工步驟的順序所產生不合理的解。

成功交換一台機器上任兩個不同工作的加工步驟會改變機器上加工步驟的排序，如圖 3.7 所示，代表一台機器上加工步驟前行限制關係的單向虛線箭頭將會被改變且部分節點加工步驟的階層值也會跟著更新。圖 3.9 是交換圖 3.7 中機器 4 上的工作 1 和工作 2，即將式 (3.2) 中的 4 行的元素從 $[x_{4c}] = [2\ 1\ 3]$ 變成 $[x_{4c}] = [1\ 2\ 3]$ 。

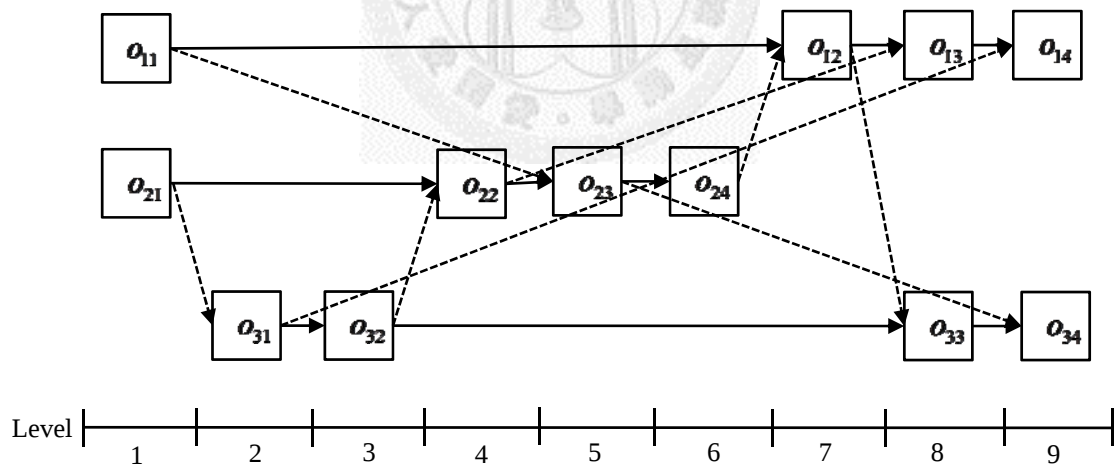


圖 3.9 交換圖 3.7 中機器 4 上的工作 1 和工作 2 的順序後的前行限制關係圖

然而若是交換機器 2 上的工作 1 和工作 2 的順序則會使加工步驟如圖 3.10 產生 $o_{22} \rightarrow o_{23} \rightarrow o_{24} \rightarrow o_{12} \rightarrow o_{13} \rightarrow o_{22}$ 的迴圈，因此是一個不合理的解。

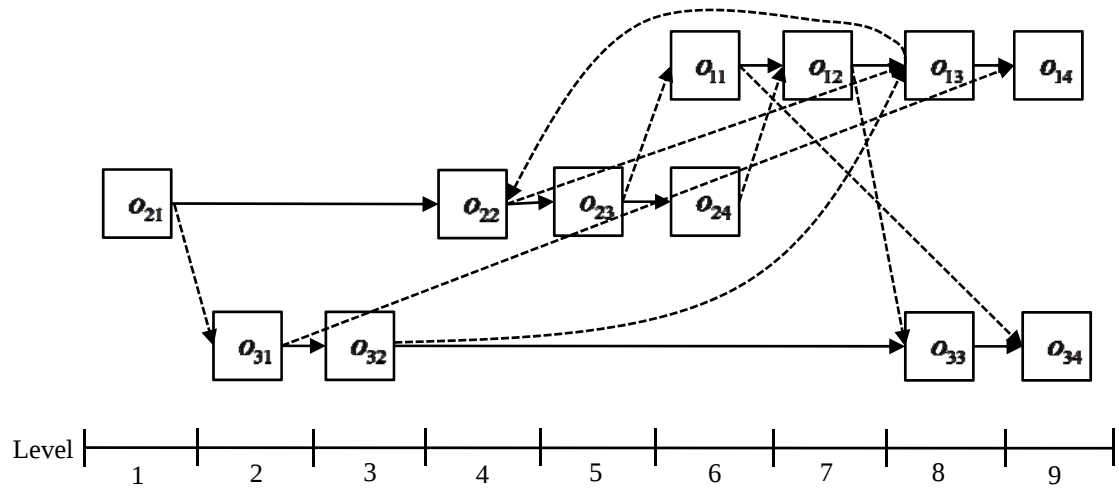
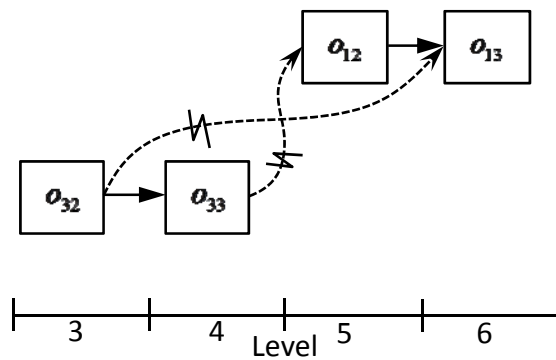
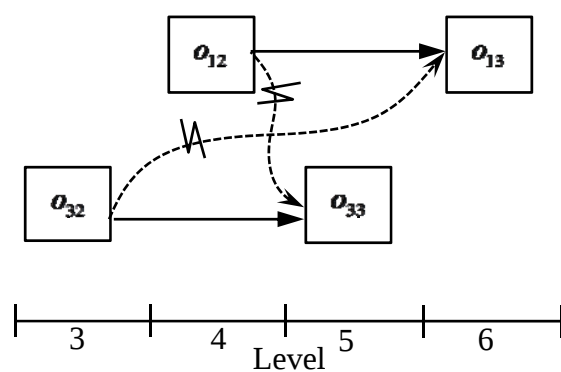


圖 3.10 交換機器 2 上工作 1 和工作 2 的順序而產生不合理的解釋

為了確保經由交換加工步驟所得到的子水流位置是一個合理解，則必須利用母水流已知的階層值來進行合理的交換程序。圖 3.11 是機器加工步驟排序 $o_{32} \rightarrow o_{13}$ 被交換的兩種情況。在圖 3.11(a) 中，加工步驟 o_{32} 的工作後繼加工步驟 o_{33} 的階層值小於加工步驟 o_{13} 的工作前行加工步驟 o_{12} 的階層值；相反地，在圖 3.11(b) 中，加工步驟 o_{32} 的工作後繼加工步驟 o_{33} 的階層值則是大大於加工步驟 o_{13} 的工作前行加工步驟 o_{12} 的階層值。



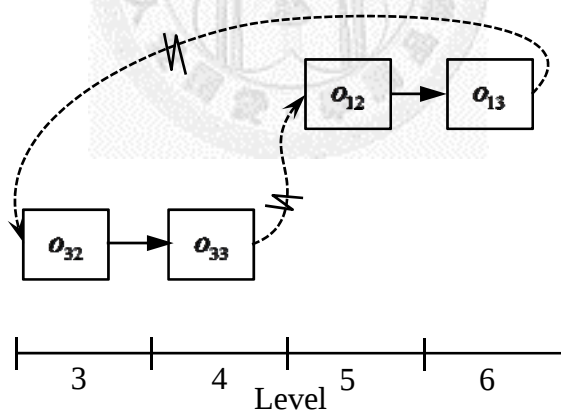
(a) 加工步驟 o_{33} 的階層值小於加工步驟 o_{12} 的階層值



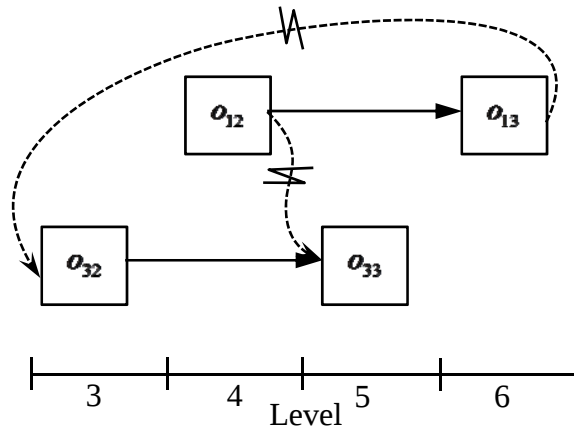
(b) 加工步驟 o_{32} 的階層值大於加工步驟 o_{32} 的階層值

圖 3.11 加工步驟 o_{32} 和 o_{13} 交換之前的機器加工步驟排序關係

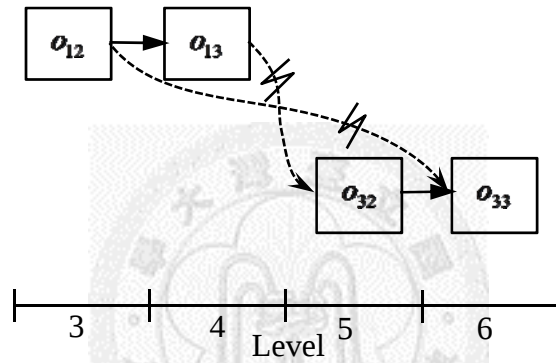
圖 3.11 中，(a)會產生迴圈因此是不合理，而(b)則是產生合理解，如圖 3.12，且圖 3.12 中的(c)是(b)的階層值更新後的結果。



(a) 交換程序結束後加工步驟產生迴圈的不合理



(b) 交換程序結束後產生合理解



(c) 更新圖(b)的階層值

圖 3.12 交換加工步驟 o_{32} 和 o_{13} 後的結果

假設 $c' < c''$ ，而工作 $x_{mc'}$ 和 $x_{mc''}$ 是在機器 m 上加工的兩個工作且預備要交換此兩個工作的加工順序，再假設這兩個工作在機器 m 上加工的加工步驟分別是 $o_{x_{mc'}, p'}$ 和 $o_{x_{mc''}, p''}$ 。為了產生一個合理解，加工步驟 $o_{x_{mc'}, p'+1}$ 的階層值必須要大於或等於加工步驟 $o_{x_{mc''}, p''-1}$ 的階層值，因此可以確保當工作 $x_{mc'}$ 和 $x_{mc''}$ 交換順序時，不會有由 $o_{x_{mc'}, p'+1}$ 到 $o_{x_{mc''}, p''-1}$ 代表前行限制關係的箭頭所形成的迴圈。而當 $o_{x_{mc'}, p'}$ 是工作 $x_{mc'}$ 最後一道加工步驟(即 $p' = \bar{p}$)或是當 $o_{x_{mc''}, p''}$ 是工作 $x_{mc''}$ 第一道加工步驟(即 $p'' = 1$)時，

交換程序結束後也不會產生任何的迴圈，因此交換加工步驟的結果便是一個合理解。

因此，根據所有加工步驟的階層值陣列 $\mathbf{l}$ ，可以判斷交換解 $\mathbf{x}$ 機器加工步驟排序中任一機器上的兩個加工步驟後是否會形成一個合理解。令 $\text{IsAFeasibleJobSwap}()$ 是確認交換機器 m 上的工作 x_{mc_1} 和工作 x_{mc_2} 是否會形成合理解的程序，詳細的演算程序如下。

$\text{IsAFeasibleJobSwap}(\mathbf{x}, \mathbf{l}, m, c_1, c_2)$

```

1  if  $c_1 < c_2$ 
2       $j' \leftarrow x_{mc_1}; j'' \leftarrow x_{mc_2}$ 
3  else
4       $j' \leftarrow x_{mc_2}; j'' \leftarrow x_{mc_1}$ 
5  end if
6   $p' \leftarrow q_{m,j'}; p'' \leftarrow q_{m,j''}$ 
7  if  $(p' = \bar{p}) \vee (p'' = 1)$ 
8      return true
9  end if
10 if  $l_{j',p'+1} \geq l_{j'',p''-1}$ 
11     return true
12 end if
13 return false

```



第 1 至 5 行是在確認兩個加工步驟的前行和後繼關係；第 7 至 9 行是檢查兩個待交換的加工步驟中位於前面的加工步驟是否是其工作的最後一道加工步驟或位於後面的加工步驟是否是其工作的第一道加工步驟，若滿足任何一個條件則表示交換的結果必然不會產生迴圈形成不合理解，則傳回 true。

然而以 MSC 作為編碼法，必須要確保初始解是一個合理解才可以藉由 $\text{IsAFeasibleJobSwap}()$ 程序來確定每一次的交換程序都是合理的，而且若是交換程序產生不合理解則必須要反覆挑選合格的工作來進行確認，因此會造成演算資源的浪費。故根據階層的概念，本研究另外提出以機器為基的前行階層 (Machine

Based precedence level, MBPL)來建構解 $\mathbf{x}$ 。前面提到的前行限制階層關係都是以工作為基的示意，如圖 3.7；而若是將圖 3.7 改以機器為基來描述則結果如圖 3.13，圖中虛線箭頭代表每台機器加工步驟之間的前行限制關係，而實線箭頭則代表同一工作加工步驟之間的前行限制關係。

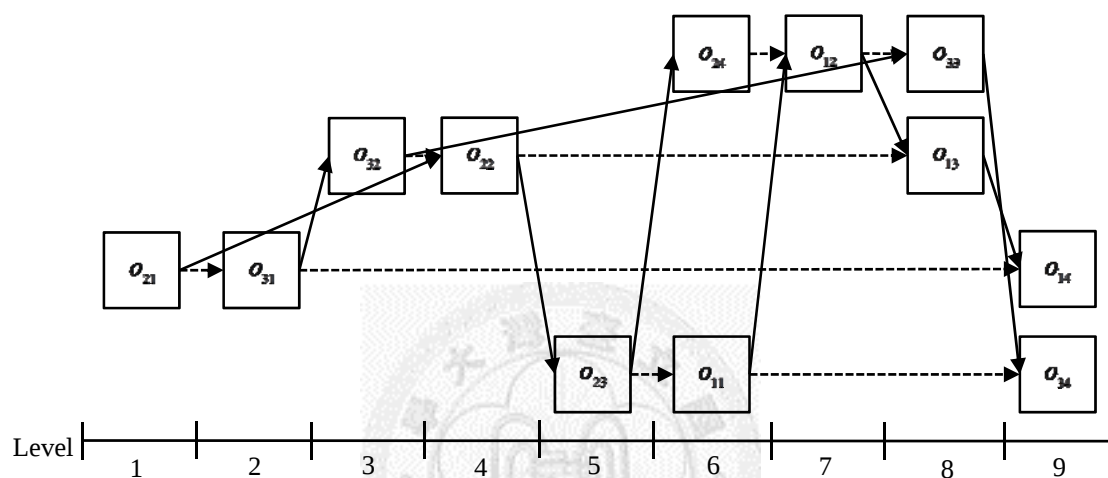


圖 3.13 範例 MBPL 示意

使用以機器為基的機器前行階層法來建構解 $\mathbf{x}$ 主要是因為此前行階層關係圖的資料結構與排程結果相似，且利用逐層指派加工步驟的技術可以避免因前行限制關係產生迴圈而形成的不合理的理解。

使用逐層指派加工步驟的技術可以不需要經過驗證合理性的程序而由 $\mathbf{w}$ 得到一個合理的 $\mathbf{x}$ 解。如圖 3.13，每一個階層都有若干被指派加工的加工步驟，因此可以推論若是逐層指派如圖中相同的加工步驟，則必然可以得到一個解 $\mathbf{x}$ ，故本研究定義一個階層中若一件工作的加工步驟尚未被完全指派加工，則此工作符合被

指派加工的條件，且一個階層中至少會有一個加工步驟被指派加工。令

ConstructAFeasibleSolution()是由 $\mathbf{w}$ 建立一個解 $\mathbf{x}$ 的程序，詳細的演算程序如下。

ConstructAFeasibleSolution(in $\mathbf{w}$, out $\mathbf{x}$)

```

1   $P = \{p_j \mid \forall p_j = 0, j = 1, 2, \dots, \bar{j}\}; C = \{c_m \mid \forall c_m = 0, m = 1, 2, \dots, \bar{m}\}$ 
2   $\mathbf{x} = [x_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{c}}, \forall x_{mc} = 0, m = 1, 2, \dots, \bar{m}, c = 1, 2, \dots, \bar{j}$ 
3   $count \leftarrow 0; level \leftarrow 1$ 
4  while  $count < \bar{m}\bar{j}$ 
5       $z_m \leftarrow \{ \}, m = 1, 2, \dots, \bar{m}$ 
6      for  $j \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
7          if  $p_j < \bar{p}$ 
8               $m' \leftarrow w_{j, p_j + 1}$ 
9               $z_m \leftarrow z_m + o_{j, p_j + 1}$ 
10         end if
11     end for
12     for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
13         if DrawAnElement( $z_m$ ) =  $o_{j, p_j + 1}$ 
14              $x_{m, c_m + 1} \leftarrow j$ 
15              $c_m \leftarrow c_m + 1$ 
16              $p_j \leftarrow p_j + 1$ 
17              $count \leftarrow count + 1$ 
18         end if
19     end for
20      $level \leftarrow level + 1$ 
21 end while

```

令 p_j 是工作 j 已被指派加工的加工步驟數且 c_m 是機器 m 上已被指派加工的加工步驟數，則第 1 行中的集合 P 和 C 分別是代表所有工作已被指派加工的加工步驟數集合和所有機器上已被指派加工的加工步驟數集合；第 2 行是先將解 $\mathbf{x}$ 中的元素初始化為 0。而因為在一個階層中，同一台機器上可能有超過一個以上的加工步驟可以被指派加工，因此第 5 行中的 z_m 是機器 m 上候選加工步驟的集合，且在每一階層開始指派加工步驟前都需要初始化成空集合。而第 6 至 11 行則是判斷只要工作 j 尚有加工步驟未被指派加工，即 $p_j < \bar{p}$ ，則便是一個可以被指派加工的加工

步驟，故將 o_{j,p_j+1} 排入 $z_{w_{j,p_j+1}}$ 的集合中成為候選加工步驟。第 12 至 19 行則是從機器 m 的候選加工步驟集合 z_m 中，使用 $\text{DrawAnElement}()$ 程序隨機選取 1 個加工步驟進行指派，除此之外，也可以根據自行設定的篩選條件進行選取或是不選取，細節將在後續章節作說明。而當選取到的加工步驟是 o_{j,p_j+1} 時，則 $x_{m,c_m+1} = j$ ，且 $p_j \leftarrow p_j + 1$ 、 $c_m \leftarrow c_m + 1$ 。而第 20 行則表示當一個階層中所有的機器皆完成選取加工步驟的作業後，則到下一階層反覆進行，直到所有加工步驟皆被指派加工。

以 3.1 的範例為例，一開始 $level = 1$ ，因為 $p_1 = 0$ ，故 $w_{1,0+1} = w_{11} = 4$ ，所以 $z_4 = \{o_{11}\}$ ；同理因為 $p_2 = 0$ 、 $p_3 = 0$ ，故 $w_{21} = w_{31} = 3$ ，所以 $z_3 = \{o_{21}, o_{31}\}$ 。假設 $\text{DrawAnElement}(z_3) = o_{21}$ ，則因為 $c_3 = 0$ ，故 $x_{3,0+1} = x_{31} = 2$ 、 $c_3 = 0 + 1 = 1$ 、 $p_2 = 0 + 1 = 1$ ；而因為 z_4 中只有一個加工步驟 o_{11} ，故 $\text{DrawAnElement}(z_4) = o_{11}$ ，且因為 $c_4 = 0$ ，故 $x_{4,0+1} = x_{41} = 1$ 、 $c_4 = 0 + 1 = 1$ ， $p_1 = 0 + 1 = 1$ ；而因為 $z_1 = z_2 = \{\}$ ，表示在階層 1 的時候並沒有加工步驟可以被指派到機器 1 和機器 2 上進行加工。因此便完成階層 1 的指派加工步驟作業，且更新解

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

而其 MBPL 如圖 3.14。

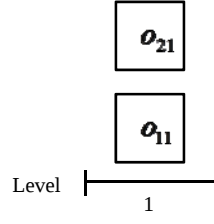


圖 3.14 指派階層 1 的加工步驟後的 MBPL

而當 $level = 2$ ，因為 $p_1 = 1$ ，故 $w_{1,1+1} = w_{12} = 1$ ，所以 $z_1 = \{o_{12}\}$ ；同樣地，因為 $p_2 = 1$ ，故 $w_{22} = 2$ ，所以 $z_2 = \{o_{22}\}$ ；而因為 $p_3 = 0$ ，故 $w_{3,0+1} = w_{31} = 3$ ，故 $z_3 = \{o_{31}\}$ 。由於 z_1 、 z_2 、 z_3 集合中分別都只有一個加工步驟，故 $\text{DrawAnElement}(z_1) = o_{12}$ ，且因為 $c_1 = 0$ ，所以 $x_{1,0+1} = x_{11} = 1$ 、 $c_1 = 0 + 1 = 1$ 、 $p_1 = 1 + 1 = 2$ ； $\text{DrawAnElement}(z_2) = o_{22}$ ，且因為 $c_2 = 0$ ，所以 $x_{2,0+1} = x_{21} = 2$ 、 $c_2 = 0 + 1 = 1$ 、 $p_2 = 1 + 1 = 2$ ； $\text{DrawAnElement}(z_3) = o_{31}$ ，且因為 $c_3 = 1$ ，所以 $x_{3,1+1} = x_{32} = 3$ 、 $c_3 = 1 + 1 = 2$ 、 $p_3 = 0 + 1 = 1$ ；而因為 $z_4 = \{ \}$ 表示在階層 2 並沒有加工步驟可以被指派到機器 4 上進行加工。因此便完成階層 1 的指派加工步驟作業，且更新解

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

而其 MBPL 如圖 3.15。

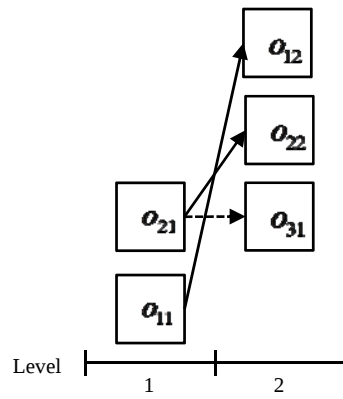


圖 3.15 指派階層 2 的加工步驟後的 MBPL

反覆進行逐層指派加工步驟作業，當所有加工步驟都被指派完成後，便可求得一個解

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix},$$

且其 MBPL 如圖 3.16。

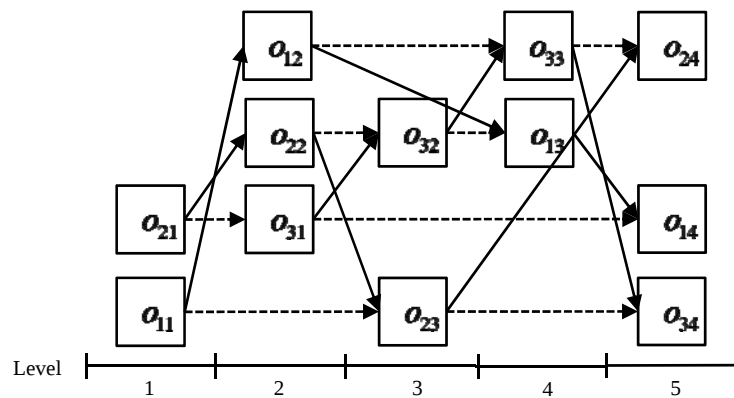


圖 3.16 逐層指派加工步驟作業完成後的 MBPL

逐層指派加工步驟的技術除了因為加工步驟的前行限制關係而使得機器上的候選加工步驟不同之外，也可以透過自行設計不同的篩選條件來指派不同的加工步驟，本研究將在下一節 3.4 中作詳細的說明。

3.4 JSP 的仿水流優化演算法

本研究承襲仿水流優化演算法的概念開發求解零工式生產排程問題的仿水流優化演算求解法，簡稱 WFA4JSP(Water Flow-like Algorithm for Job-shop Scheduling Problems)。本節共分為六個部分，首先介紹初始參數和初始單股水流設定，接著再分別詳述 WFA4JSP 的四個主要作業，最後更新迄今最佳解。

本研究在 3.2 提出 MSC 的編碼技術，故令 $\mathbf{x} = [x_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{j}}$ 是一股水流的位置且代表最佳化問題的一個解，則 WFA4JSP 的演算模型是由一個代表所有水流位置的集合 X 所組成， $X = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N\}$ ， N 是當代總水流股數。為了方便說明，在接下來的演算流程中本研究以索引 i 或位置 $\mathbf{x}_i$ 來代表一股水流。水流集合 X 會經由反覆的仿水流演算作業產生新的水流集合，同時改善以水流位置所代表的解的目標函數值，且會經由分流和匯流作業更新其總水流股數和水流的位置。水流的分流作業會根據水流現在的位置與其之前的位置的目標函數改善量來進行分流，因此，定義水流 i 的母水流位置 $\tilde{\mathbf{x}}_i = [\tilde{x}_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{j}}$ ，即 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 可以視為是水流 i 之前的位置，且一股母水流可以分出多股子水流；再令 f_i 是水流 i 的目標函數值，即 $f_i = f(S_i)$ ；而 $\tilde{f}_i$ 則是水流 i 其母水流的目標函數值，即 $\tilde{f}_i = f(\tilde{S}_i)$ 。

JSP 是屬於最小化的問題，故當水流集合中的水流目標函數值小於迄今最佳目標函數值時，便須更新迄今最佳目標函數值。定義 $\underline{f}^*$ 是迄今最佳目標函數值，且

集合 X^* 是記錄更新迄今最佳解的水流集合， $X^* = \{\mathbf{x}_1^*, \mathbf{x}_2^*, \dots, \mathbf{x}_g^*\}$ ，而 g 是更新迄今最佳解的次數同時也是迄今最佳解水流集合中的水流個數，且令所有迄今最佳解的水流目標函數值集合 $F^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_g^*\}$ ，則 $\underline{f}^* = \min\{f_1^*, f_2^*, \dots, f_g^*\}$ 。一個代次演算完成後，若當代水流集合中有水流的目標函數值小於 $\underline{f}^*$ 時，便會同時更新 X^* 和 $\underline{f}^*$ 。假設水流 i 是當代水流集合中的目標函數值最小的水流，即 $f_i = \min(f_1, f_2, \dots, f_n)$ ，若 $f_i < \underline{f}^*$ ，則更新迄今最佳解的水流集合 $X^* \leftarrow X^* + \mathbf{x}_i$ ， $g \leftarrow g + 1$ ，且同時更新迄今最佳解 $\underline{f}^* \leftarrow f_i$ 。

3.4.1 初始參數設定及初始水流

WFA 主要的特性之一就是由一股初始水流逐漸分出多股水流在整個解空間中進行廣泛的搜尋。演化初始必須要由使用者設定水流總質量 $\bar{\mu}$ 、單股水流分流數上限 $\bar{n}$ 、水流股數上限 N 、蒸發率 τ 、水氣飽和度 $\bar{\sigma}$ 。

演化初期，水流集合中只有一股水流，即 $N=1$ 且 $X = \{\mathbf{x}_1\}$ ， $\mathbf{x}_1$ 即是初始水流位置 $\mathbf{x}_0$ ；令初始水流 $\mathbf{x}_1$ 的質量是 $\mu_1 = \mu_0$ ，而 μ_0 是使用者自定的整個演算法水流總質量。在連續型問題中，WFA 是利用母水流的位置加上速度向量而得到一股子水流的位置，而 JSP 則是屬於離散型問題，故本研究根據 JSP 的加工步驟前行限制階層特性和以 MSC 作為編碼法而產生的機器前行限制階層特性，開發以機器為基的部分階層加工步驟重新指派法(Partial Machine Based Precedence Level Operation Reallocated, PMBPLOR)來進行分流作業。PMBPLOR 主要是透過重新指派機器前行限制階層中一段階層區間內的加工步驟，藉由改變區間內機器上加工步驟的排序，使母水流位置產生移動而分出子水流。設水流 i 的母水流所有加工步驟的最大

階層值是 $\tilde{L}_i$ ，則令 α_i 是水流 i 重新指派加工步驟區間的起始階層， $1 \leq \alpha_i \leq \tilde{L}_i$ ；再令 β_i 是水流 i 重新指派加工步驟區間的階層數， $1 \leq \beta_i \leq \tilde{L}_i - \alpha_i + 1$ 。假設 $\alpha_i = 2$ 且 $\beta_i = 5$ ，表示當水流 i 要進行分流作業時，將會重新指派階層 2 到階層 6 之間的加工步驟，藉此使水流 i 的位置產生移動形成一股新的子水流，如圖 3.17。詳細的分流程序會在 3.4.2 說明。

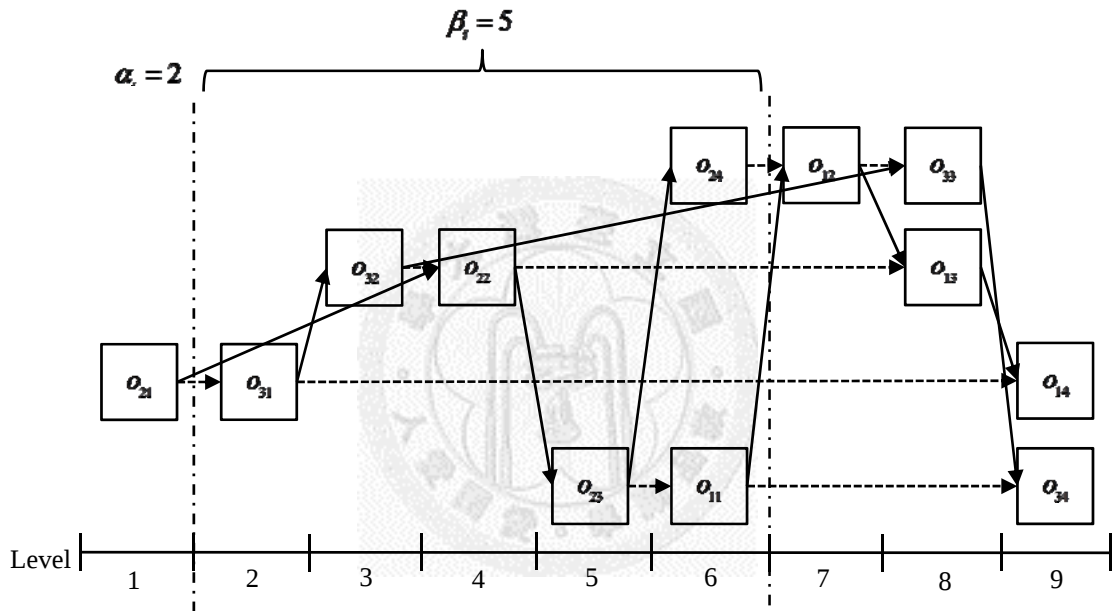


圖 3.17 水流 i 的 MBPL 和其 PMBPLOR 區間的起始階層 α_i 及階層數 β_i 關係

初始水流的位置 $\mathbf{x}_1$ 是採用 MBPL 的技術逐層指派加工步驟建立而成，而根據 MSC 的定義，解 $\mathbf{x}$ 每一列的元素排序即代表一台機器上加工步驟的加工順序，而排程作業便是根據這個排序進行排程。JSP 的排程結果分為有效排程(active schedule)和半有效排程(semi-active schedule)；一個合理的排程結果若被稱為有效排程則代表此排程中沒有任何一道加工步驟可以提早開始加工而不會延後其他加工

步驟的加工起始時間，即一個有效排程若是可以減少最晚完工時間 $f(S)$ 則必然會增加某些加工步驟的加工起始時間；而半有效排程則是減少最晚完工時間 $f(S)$ 卻不增加其他加工步驟的加工起始時間，故一個 JSP 最佳解的排程結果必定是有效排程。上一節的圖 3.8 即是一個半有效排程，在機器 4 加工的加工步驟 O_{11} 可以提前到其機器前行加工步驟 O_{23} 之前進行加工而不影響其他加工步驟的加工起始時間，使得機器 4 上的加工步驟排序由 $[x_{4c}] = [2\ 1\ 3]$ 變成 $[x_{4c}] = [1\ 2\ 3]$ ，結果則如圖 3.18。而圖 3.19 則是一個有效排程的範例，圖中沒有任何一個加工步驟可以提前加工而不延後其他加工步驟的加工起始時間。

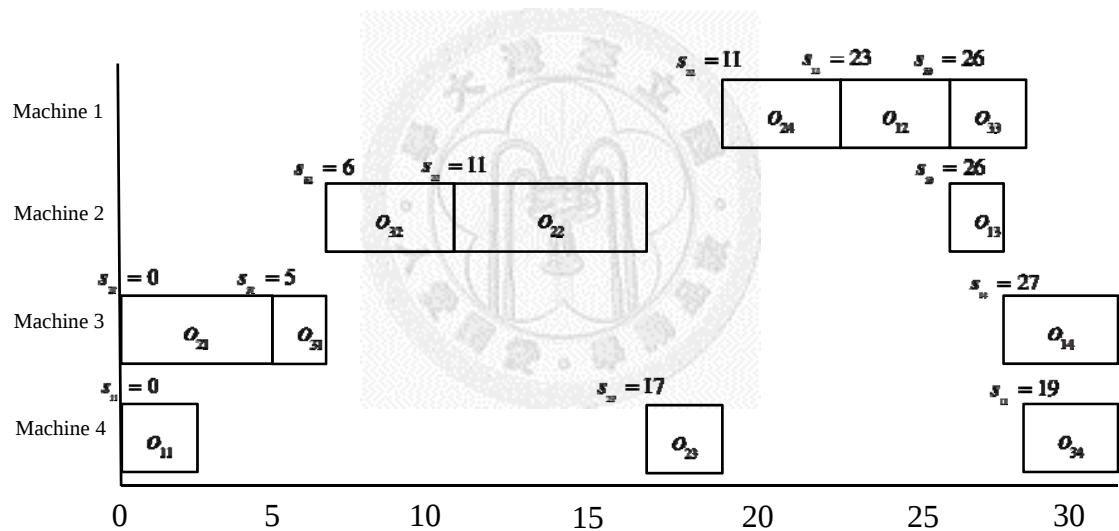


圖 3.18 將圖 3.8 中在機器 4 加工的加工步驟 O_{11} 提早加工後的機器排程甘特圖

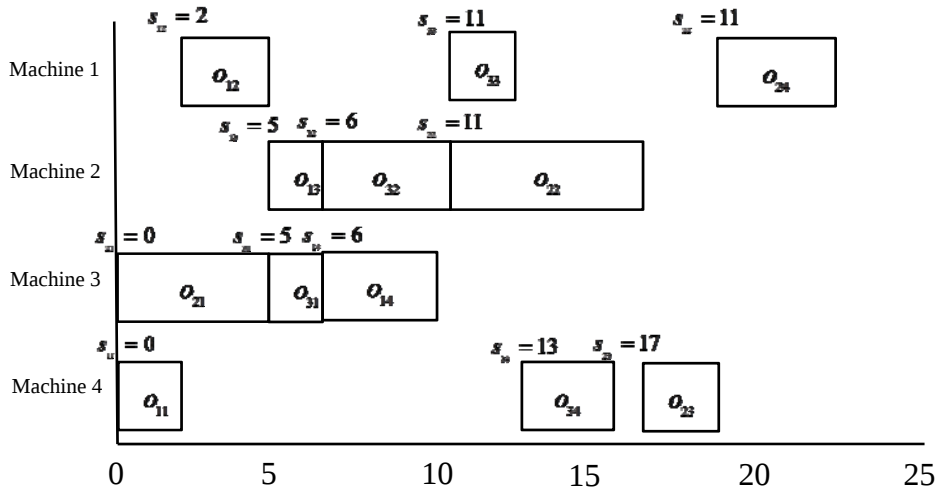


圖 3.19 JSP 有效排程範例機器甘特圖

水流位置 $\mathbf{x}$ 每一列的工作排序會直接影響排程結果是否為有效排程，故在建立一股水流的時候，必須要確保每一列的排序所形成的排程結果必定是有效排程。本研究的水流位置 $\mathbf{x}$ 是採用上一節 3.3 所提出的 MBPL 逐層指派加工步驟技術建立而成，因此在每一階層要指派加工步驟之前都必須要考慮指派後是否會造成其他機器後繼加工步驟形成半有效排程。故令 ConstructAnActiveFlowAndSchedule() 是建構一個有效排程的初始水流程序，詳細的演算程序如下。

ConstructAnActiveFlowAndSchedule(in $\mathbf{w}$, in $\mathbf{t}$, out $\mathbf{x}$)

- 1 $P = \{p_j \mid \forall p_j = 0; j = 1, 2, \dots, \bar{j}\}; C = \{c_m \mid \forall c_m = 0; m = 1, 2, \dots, \bar{m}\}$
- 2 $T^M = \{T_m^M \mid \forall T_m^M = 0; m = 1, 2, \dots, \bar{m}\}; T^J = \{T_j^J \mid \forall T_j^J = 0; j = 1, 2, \dots, \bar{j}\}$
- 3 $\mathbf{x} = [x_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{j}}; \forall x_{mc} = 0; m = 1, 2, \dots, \bar{m}; c = 1, 2, \dots, \bar{j}$
- 4 $count \leftarrow 0; level \leftarrow 1$
- 5 **while** $count < \bar{m}\bar{j}$
- 6 $\forall z_m \leftarrow \{ \}; m = 1, 2, \dots, \bar{m}$
- 7 **for** $j \leftarrow 1$ **to** $\bar{j}$
- 8 **if** $p_j < \bar{p}$
- 9 $m' \leftarrow w_{j, p_j+1}$
- 10 **if** $c_{m'} < \bar{m} - 1$

```

11         if CheckActive( $o_{j,p_j+1}, T^M, T^J, P, S$ ) = true
12              $z_m \leftarrow z_m + o_{j,p_j+1}$ 
13         end if
14     else
15          $z_m \leftarrow z_m + o_{j,p_j+1}$ 
16     end if
17 end if
18 end for
19 for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
20     if DrawAnElement( $z_m$ ) =  $o_{j,p_j+1}$ 
21          $s_{j,p_j} \leftarrow \max(T_m^M, T_j^J)$ 
22          $T_j^J \leftarrow s_{j,p_j} + t_{j,p_j}$ 
23          $x_{m,c_m+1} \leftarrow j$ 
24          $T_m^M \leftarrow T_j^J$ 
25          $c_m \leftarrow c_m + 1$ 
26          $p_j \leftarrow p_j + 1$ 
27          $count \leftarrow count + 1$ 
28     end if
29 end for
30  $level \leftarrow level + 1$ 
31 end while

```

第 1 至 20 行和上一節 3.3 所提出的 ConstructAFeasibleSolution() 程序相同；第 21 至 27 行表示加工步驟 o_{j,p_j+1} 在機器 m' 上還有其他機器後繼加工步驟，因此必須透過 CheckActive() 程序來檢驗當加工步驟 o_{j,p_j+1} 在階層 $level$ 被指派時，是否會造成其機器後繼加工步驟產生半有效排程，而若 o_{j,p_j+1} 已經是機器 m' 。若 CheckActive() 傳回 true，表示如果加工步驟 o_{j,p_j+1} 在 $level$ 被指派，則並不會造成機器 m' 上其他機器後繼加工步驟形成半有效排程，因此 o_{j,p_j+1} 便是機器 m' 上的候選加工步驟。而第 36 至 38 行則是在建立水流位置的同時也同步進行排程作業。而檢驗加工步驟是否會造成機器後繼加工步驟形成半有效排程的演算程序 CheckActive() 細節如下。

CheckActive($O_{j^*p^*}, T^M, T^J, P, S$)

```

1   $\hat{S} \leftarrow S$ 
2   $m' \leftarrow w_{j^*p^*}; \hat{s}_{j^*p^*} = \max(T_{m'}^M, T_{j^*}^J)$ 
3  for  $j \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
4      if  $j \neq j^*$ 
5          if  $q_{m'j} > p_j$ 
6               $p' \leftarrow q_{m'j}$ 
7               $\hat{T}^M \leftarrow T^M; \hat{T}^J \leftarrow T^J$ 
8              for  $p \leftarrow p_j + 1$  to  $p'$ 
9                   $m'' \leftarrow w_{jp}$ 
10                  $\hat{s}_{jp} \leftarrow \max(\hat{T}_{m''}^M, \hat{T}_j^J)$ 
11                  $\hat{T}_j^J \leftarrow \hat{s}_{jp} + t_{jp}$ 
12                  $\hat{T}_{m''}^M \leftarrow \hat{T}_j^J$ 
13             end for
14             if  $\hat{T}_j^J \leq \hat{s}_{j^*p^*}$ 
15                 return false
16             end if
17         end if
18     end if
19 end for
20 return true

```

第 1 行中的 $\hat{S}$ 是檢驗程序中的區域變數，代表所有加工步驟的加工起始時間集合，且 $\hat{s}_{j^*p^*}$ 是 $O_{j^*p^*}$ 的加工起始時間。而第 7 中的集合 $\hat{T}^M$ 和 $\hat{T}^J$ 也都是區域變數，分別是代表所有機器的可加工時間和所有工作的可加工時間。第 5 行 $q_{m'j} > p_j$ 表示工作 j 在機器 m' 上的加工步驟尚未被指派且令 $p' \leftarrow q_{m'j}$ ，則代表 $O_{j,p'}$ 是 $O_{j^*p^*}$ 在機器 m' 上的機器後繼加工步驟，因此第 8 至 13 行便是在計算工作 j 的加工步驟從 O_{j,p_j+1} 加工至 $O_{j,p'}$ 後的 $\hat{T}_j^J$ ，此時 $\hat{T}_j^J$ 是代表加工步驟 $O_{j,p'}$ 的完工時間。因此，第 14 至 16 行表示當 $\hat{T}_j^J \leq \hat{s}_{j^*p^*}$ 時，若加工步驟 $O_{j^*p^*}$ 被指派加工，則可能造成 $O_{j,p'}$ 形成半有效排程，因此 $O_{j^*p^*}$ 並不是一個候選加工步驟，傳回 false，反之則傳回 true。

因此，透過 ConstructAnActiveFlowAndSchedule() 便可求得初始水流 $\mathbf{x}_1$ ，且 $n=1$ ， $X = \{\mathbf{x}_1\}$ 。水流的分流需參考母水流的位置再進行分流，而本研究對於初始解的設計是不需要另外求出一股虛擬母水流，但在計算水流的分流股數時，仍需參考母水流的目標函數值，故令初始水流的重新指派加工步驟區間的起始階層 $\alpha_1=1$ ，且虛擬母水流的目標函數值 $\tilde{f}_1 = f_1$ 。另外由於初始水流是第一股水流，故迄今最佳解水流集合 $X^* = \{\mathbf{x}_1\}$ ，迄今最佳解水流數 $g=1$ ，迄今最佳解 $F = f_1$ 。

3.4.2 分流移步(Splitting)

分流移步作業是依序地引領 X 中每條水流進行分流移步。分流移步作業分為兩個部分，首先必須根據每條水流的目標函數值改善量來決定子水流的股數，一旦決定了分流股數後，便可藉由變動水流的位置產生子水流的位置。每條水流的分流數不可大於使用者設訂的分流數上限 $\bar{n}$ ，以防止水流無限制地增加。本研究設計當目標函數值變動量較小的水流會分出較多的子水流進行較廣泛的搜尋；另一方面，目標函數值變動量較大的水流則應維持單股鄰域的搜尋。而除了目標函數值變動量會影響分流股數之外，水流質量和使用者自行設定的水流股數上限 N 同樣也會對分流股數造成限制，當水流質量不足以使水流產生分流時，則維持單股流動。

分流股數

WFA 相較於其他優化演算法最大的不同便是在搜尋的過程中，可以動態調整解代理人的數量。令 θ 是目標函數值變動量門檻，而隨著演化代次 λ 的增加，門檻值必須要適時的修正，當水流目標函數值變動量超過門檻值時，應維持單股的鄰

域搜尋，反之則是多股搜尋。本研究設定 θ 的初始值是 $\bar{\theta}$ 和 θ 的下限 $\underline{\theta}$ 是由本研究依照每個標竿問題解的值域不同而設定不同的值，且當每次更新迄今最佳解的時候便須同時更新目標函數值變動量門檻

$$\theta \leftarrow \begin{cases} \underline{\theta} & , \text{ if } \frac{|\underline{f}^* - \tilde{f}^*|}{\tilde{f}^*} \leq \underline{\theta} \\ \frac{|\underline{f}^* - \tilde{f}^*|}{\tilde{f}^*} & , \text{ if } \underline{\theta} < \frac{|\underline{f}^* - \tilde{f}^*|}{\tilde{f}^*} < \theta \\ \theta & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3.8)$$

式中 $\underline{f}^*$ 是迄今最佳解也是最佳解目標函數集合 F^* 中的最小值，即 $\underline{f}^* = \min\{f_1^*, f_2^*, \dots, f_g^*\}$ ，而 $\tilde{f}^*$ 則是次小的目標函數值。因此令根據水流 i 目標函數值的變動量所分流的股數

$$n'_i = \text{Round} \left(\text{Pow} \left(\bar{n}, \left(1 - \frac{|\underline{f}_i - \tilde{f}_i|}{\tilde{f}_i} \right) \right) \right) \quad (3.9)$$

WFA 另外設計當水流質量低於分流質量下限時便無法繼續分流，只能維持單股演化，令每股水流質量下限是 $\bar{\mu}/N\bar{n}$ ，因此若根據水流 i 的質量，則水流 i 最多可以分出 $\left\lfloor \frac{\mu_i}{\bar{\mu}/N\bar{n}} \right\rfloor$ 股水流。

由於水流的股數受到使用者設定的水流股數上限 N 的限制，所以在決定分流股數的時候必須要考慮當所有母水流都完成分流後的子水流總數是否會超過 N ，因此本研究設計在分流開始時，需先將所有母水流依照其目標函數值由小至大排列，分流的順序則是由目標函數值最小的母水流開始分流，若分流股數會導致子水流總數超過 N 則維持單股演化，故設代表分流順位的水流陣列 $\mathbf{X}' = \langle \mathbf{x}'_1 \mathbf{x}'_2 \dots \mathbf{x}'_n \rangle$

且水流 i 的目標函數值 $f'_i < f'_{i+1}$ ，故本研究定義水流 i 的分流股數

$$n_i = \begin{cases} 1 & , \text{ if } \frac{|f_i - \tilde{f}_i|}{\tilde{f}_i} > \theta \vee n - i + \sum_{i'=1}^{i-1} n_{i'} + n'_i > N \\ \min\left(n'_i, \left\lfloor \frac{\mu_i}{\bar{\mu}/N\bar{n}} \right\rfloor\right) & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3.10)$$

分流移步

使用 MSC 編碼法求解 JSP 其解的演化方式便是改變水流位置藉以產生新的位置而形成一股子水流。本研究採用 PMBPLOR 作為改變水流位置的方法，主要是藉由重新指派母水流一段階層區間中的加工步驟，使得機器上的工作排序產生變化，得以演化出一股新的水流，因此設 α_i 是水流 i 重新指派加工步驟區間起始階層，且 $1 \leq \alpha_i \leq \tilde{L}_i$ ，其中 $\tilde{L}_i$ 是水流 i 母水流所有加工步驟的階層值中的最大值，即 $\tilde{L}_i = \max\{\tilde{l}_{jp} \mid j=1,2,\dots,\bar{j}; p=1,2,\dots,\bar{p}\}$ ，而根據本研究的實驗，若 α_i 太接近 $\tilde{L}_i$ 則移步的效率不佳，故定義 α_i 的值域應為 $1 \leq \alpha_i \leq \tilde{L}_i - 2$ ；再令 β_i 是水流 i 重新指派加工步驟區間的階層數，且 $1 \leq \beta_i \leq \tilde{L}_i - \alpha_i + 1$ 。

設 $\mathbf{x}_{ik}$ 是水流 i 的第 k 股子水流，則 PMBPLOR 法必須要先決定 α_k 和 β_k 。假設 L_i 是水流 i 加工步驟階層值中的最大值， l_{jp} 是水流 i 加工步驟 o_{jp} 的階層值，則 $L_i = \max\{l_{jp} \mid j=1,2,\dots,\bar{j}; p=1,2,\dots,\bar{p}\}$ ，故本研究定義子水流 $\mathbf{x}_{ik}$ 重新指派加工步驟的起始階層

$$\alpha_k = \begin{cases} \text{random}(1, L_i - 2) & , \text{ if } \alpha_i = L_i - 2 \\ \text{random}(1, \alpha_i - 1) & , \text{ if } \alpha_i \neq L_i - 2 \wedge \sim U(0,1) < \frac{\alpha_i - 1}{L_i - 1} \\ \text{random}(\alpha_i + 1, L_i - 2) & , \text{ if } \alpha_i \neq L_i - 2 \wedge \sim U(0,1) \geq \frac{\alpha_i - 1}{L_i - 1} \end{cases} \quad (3.11)$$

式中 $\sim U(0,1)$ 是一服從均勻分布的隨機亂數值，而 $\text{random}(a,b)$ 是表示由 a 至 b 中隨機選取一個整數。 α_k 的設定分為三種情況，第一種是當母水流的重新指派加工步驟的起始階層 $\alpha_i = L_i - 2$ 時，表示 α_i 已經在階層末端，經本研究實驗若重新指派加工步驟的區段起始階層在階層末端時，則演化的效能不佳，故從階層 1 至 $L_i - 2$ 隨機挑選一個階層作為子水流重新指派加工步驟的起始階層 α_k ；第二種和第三種情況是當 α_i 介於階層 1 和 $L_i - 2$ 之間時，則 α_k 必須由 $\sim U(0,1)$ 決定是屬於 $[1, \alpha_i - 1]$ 或 $[\alpha_i + 1, L_i - 2]$ 階層區間中，最後再隨機選取。舉例來說，假設 $L_i = 9$ ，當 $\alpha_i = 7$ ，則 $\alpha_k = \text{random}(1, 7)$ ；而假設 $\alpha_i = 3$ 時，若 $\sim U(0,1) < \frac{2}{8}$ ，則 $\alpha_k = \text{random}(1, 2)$ ，反之則 $\alpha_k = \text{random}(4, 7)$ 。而經本研究實驗設計，子水流 k 重新指派加工步驟區段的階層數

$$\beta_k = \text{random}(2, \min(5, L_i - \alpha_k))。 \quad (3.12)$$

而當 α_k 和 β_k 設定完成後，母水流的所有加工步驟便分為三個區段，第一個區段是加工步驟的階層值小於 α_k 的加工步驟，本研究設定子水流直接繼承母水流此區段內的加工步驟，即直接將這個區段內每台機器上的加工步驟按照順序複製到子水流中；第二個區段是加工步驟階層值介於 α_k 至 $\alpha_k + \beta_k - 1$ 之間的加工步驟，子水流將會重新指派這個區段內的加工步驟，方法和初始解一樣也是逐層指派，但是指派加工步驟的策略除了隨機指派之外還使用了一些常見的派工法則，本研究採用混合策略使用隨機派工法、最長剩餘未加工時間優先指派法、和最多未加工的加工步驟優先指派法；第三個區段是加工步驟階層值介於 $\alpha_k + \beta_k$ 至 L_i 之間的加工步驟，由於在第二個區段內有部分加工步驟被重新指派，且第二個區段的加工

步驟是第三個區段的前行加工步驟，因此第三的區段的加工步驟也必須逐層做調整，而調整的方式是在篩選完每台機器上的候選加工步驟後，優先指派在母水流中階層值較小的加工步驟，目的是希望第三個區段內的加工步驟可以繼承母水流中的機器加工步驟前行關係。舉例來說，在階層 $level$ 時，若在第三區段內機器 m 上的候選加工步驟集合 $z_m = \{o_{12} \ o_{33} \ o_{24}\}$ 且在母水流機器 m 上的機器加工步驟前行關係是 $o_{33} \rightarrow o_{12} \rightarrow o_{24}$ ，則 o_{33} 優先指派。令 $SplittingAndMovingOperator()$ 是分流移步的程序，則程序的細節如下。

$SplittingAndMovingOperator(in \ x_i, in \ \alpha_k, in \ \beta_k, out \ x_{ik})$

```

1   $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{\bar{j}}\}; C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 
2   $T^M = \{T_m^M | m = 1, 2, \dots, \bar{m}\}; T^J = \{T_j^J | j = 1, 2, \dots, \bar{j}\}$ 
3   $x_{ik} = [x'_{mc}]_{\bar{m} \times \bar{j}}, \forall x'_{mc} \leftarrow 0, m = 1, 2, \dots, \bar{m}, c = 1, 2, \dots, \bar{j}$ 
4   $count \leftarrow 0$ 
5  for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
6    for  $c \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
7       $j' \leftarrow x_{mc}$ 
8       $p' \leftarrow q_{mj'}$ 
9      if  $l_{j'p'} < \alpha_k$ 
10          $x'_{mc} \leftarrow x_{mc}$ 
11          $l'_{j'p'} \leftarrow l_{j'p'}$ 
12          $s'_{j'p'} \leftarrow s_{j'p'}$ 
13          $c_m \leftarrow c_m + 1$ 
14          $p_{j'} \leftarrow p_{j'} + 1$ 
15          $count \leftarrow count + 1$ 
16      end if
17    end for
18  end for
19   $T_j^J \leftarrow \max \{s_{jp} | p = 1, 2, \dots, \bar{p}\}, j = 1, 2, \dots, \bar{j}$ 
20   $T_m^M \leftarrow \max \{s_{jp} | \forall j \in J; p = 1, 2, \dots, \bar{p}; w_{jp} = m\}, m = 1, 2, \dots, \bar{m}$ 
21  for  $level \leftarrow \alpha_k$  to  $\alpha_k + \beta_k - 1$ 
22     $\forall z_m \leftarrow \{ \}, m = 1, 2, \dots, \bar{m}$ 
23    for  $j \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
24      if  $p_j < \bar{p}$ 

```

```

25          $m' \leftarrow w_{j,p_j+1}$ 
26         if  $c_{m'} < \bar{m} - 1$ 
27             if  $\text{CheckActive}(o_{j,p_j+1}, T^M, T^J, P, S) = \text{true}$ 
28                  $z_m \leftarrow z_m + o_{j,p_j+1}$ 
29             end if
30         else
31              $z_m \leftarrow z_m + o_{j,p_j+1}$ 
32         end if
33     end if
34 end for
35 for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
36     if  $\text{DrawAnElementByRules}(z_m) = o_{j,p_j+1}$ 
37          $p_j \leftarrow p_j + 1$ 
38          $c_m \leftarrow c_m + 1$ 
39          $s_{j,p_j} \leftarrow \max(T_m^M, T_j^J)$ 
40          $T_j^J \leftarrow s_{j,p_j} + t_{j,p_j}$ 
41          $T_m^M \leftarrow T_j^J$ 
42          $x_{m,c_m} \leftarrow j$ 
43          $\text{count} \leftarrow \text{count} + 1$ 
44     end if
45 end for
46 end for
47  $\text{level} \leftarrow \alpha_k + \beta_k$ 
48 while  $\text{count} < \bar{m}\bar{j}$ 
49      $\forall z_m \leftarrow \{ \}; m = 1, 2, \dots, \bar{m}$ 
50     for  $j \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 
51         if  $p_j < \bar{p}$ 
52              $m' \leftarrow w_{j,p_j+1}$ 
53             if  $c_{m'} < \bar{m} - 1$ 
54                 if  $\text{CheckActive}(o_{j,p_j+1}, T^M, T^J, P, S) = \text{true}$ 
55                      $z_m \leftarrow z_m + o_{j,p_j+1}$ 
56                 end if
57             else
58                  $z_m \leftarrow z_m + o_{j,p_j+1}$ 
59             end if
60         end if
61     end for
62     for  $m \leftarrow 1$  to  $\bar{m}$ 
63         for  $c \leftarrow 1$  to  $\bar{j}$ 

```

```

64          $j' \leftarrow x_{mc}$ 
65          $p' \leftarrow q_{mj'}$ 
66         if  $o_{jp'} \cap z_m \neq \emptyset$ 
67              $c_m \leftarrow c_m + 1$ 
68              $p_{j'} \leftarrow p_{j'} + 1$ 
69              $x'_{mc_m} \leftarrow j'$ 
70              $l'_{jp'} \leftarrow level$ 
71              $s_{jp'} = \max(T_{j'}^J, T_m^M)$ 
72              $T_{j'}^J \leftarrow s_{jp'} + t_{jp'}$ 
73              $T_m^M \leftarrow T_{j'}^J$ 
74              $count \leftarrow count + 1$ 
75             exit
76         end if
77     end for
78 end for
79      $level \leftarrow level + 1$ 
80 end while

```

第 3 行中 x_{ik} 代表是水流 i 第 k 股子水流的位置；第 5 至 18 行是將母水流第一個區段的加工步驟複製到子水流，式中 $l'_{jp'}$ 和 $s'_{jp'}$ 分別是子水流加工步驟 $o_{jp'}$ 的階層值和加工起始時間，且 $l'_{jp'} \leftarrow l_{jp'}$ 、 $s'_{jp'} \leftarrow s_{jp'}$ 。而第 21 至 46 行則是重新指派母水流階層 α_k 至 $\alpha_k + \beta_k - 1$ 之間的加工步驟，其中第 36 行 DrawAnElementByRules() 是本研究使用一些常見的派工法則來選取加工步驟的程序，分別最多未加工的加工步驟優先指派法、最長剩餘加工時間優先指派法、隨機指派法，本研究則採取混合策略來指派加工步驟；而第 48 至 80 行則是指派階層 $\alpha_k + \beta_k$ 之後的加工步驟，而機器 m 上候選加工步驟的指派原則是根據母水流 i 中機器 m 上的機器加工步驟前行限制的關係來選取加工步驟，假設 $o_{jp}, o_{jp'} \in z_m$ ，且 $l_{jp} < l_{jp'}$ ，表示在母水流中， o_{jp} 是 $o_{jp'}$ 在機器 m 上的前行加工步驟，則在指派的時候加工步驟 o_{jp} 將優先於 $o_{jp'}$ 被指派。

分流移步作業的最後一個步驟是分配子水流質量和指定其母水流的相關屬性。

本研究設計的質量分配方法是按照子水流的目標函數值改善量的比例作分配，因為 JSP 是屬於望小的優化問題，故目標函數值改善量越大的水流則分配越多的質量，越小的則分配越少的質量，設水流 i 所分出的第 k 股水流的目標函數值是 f_{ik} ，則第 k 股子水流的目標函數值改善量即是 $f_i - f_{ik}$ ，且目標函數值改善量有可能是負的。本研究定義改善量最大的水流所分配到的質量是改善量最小的水流的兩倍，因此水流 i 的子水流最大改善量和最小改善量分別是

$$\bar{\delta} = \max_{k=1,2,\dots,n_i} \{f_i - f_{ik}\} \quad (3.13)$$

和

$$\underline{\delta} = \min_{k=1,2,\dots,n_i} \{f_i - f_{ik}\} \circ \quad (3.14)$$

因此第 k 股子水流所分配到的質量比例是

$$\rho_k = (f_i - f_{ik} - \underline{\delta}) + (\bar{\delta} - \underline{\delta}) \quad (3.15)$$

則第 k 股子水流從母水流 i 所分配到的質量

$$m_{ik} = \frac{\rho_k}{\sum_{k'=1}^{n_i} \rho_{k'}} m_i \circ \quad (3.16)$$

在質量分配完之後，水流 i 的目標函數值 f_i 便轉換成其子水流的母代屬性資料，即 $\tilde{f}_{ik} \leftarrow f_i$ ， $k=1,2,\dots,n_i$ 。若 $n_i=1$ ，則水流 i 將直接經由分流移步作業直接改變原先的位置形成子水流。

當所有水流都完成分流作業後，子水流便可形成新的水流集合

$$X \leftarrow \bigcup_{i=1}^n \{\mathbf{x}_{i1}, \mathbf{x}_{i2}, \dots, \mathbf{x}_{in_i}\} \quad (3.17)$$

同時更新水流股數

$$n \leftarrow \sum_{i=1}^n n_i \quad (3.18)$$

3.4.3 匯流(Merging)

匯流的目的是刪除重複的解代理人，以避免不必要的搜尋和運算。本研究使用一般常見的位置匯流法(Location-based Merging Operation, LMO)。由於本研究是使用 MSC 編碼法，每一列上的工作序列代表一台機器上加工步驟的加工順序，只要序列不同，便會產生不同的排程結果，因此定義當兩股水流位置完全相同時，才進行匯流。令 $\text{LocationMergeable}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_{i'})$ 是判斷水流 i 和水流 i' 是否可以進行匯流的運算，則

$$\text{LocationMergeable}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_{i'}) = \begin{cases} \text{false}, & \text{if } \mathbf{x}_i = \mathbf{x}_{i'} \\ \text{true}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.19)$$

匯流作業會依序循環經過當代水流集合中每一條水流 i ，且每一條水流 i 會形成匯流集合 A_i 。假設水流索引 $i < i'$ ，且 $\text{LocationMergeable}(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_{i'}) = \text{true}$ ，表示水流 i 和水流 i' 可匯流合併，則將水流 i 的質量 μ_i 合併到水流 i' ，即 $\mu_{i'} \leftarrow \mu_{i'} + \mu_i$ ，且 $A_i = \emptyset$ ；換句話說，若是水流 i 和其之後的水流並不相同，則 A_i 中會存在一股水流 i ，即若 $A_i \neq \emptyset$ 則 $\mathbf{x}_i \in A_i$ 。完成水流集合中所有水流的匯流作業後，便可更新水流集合 $X \leftarrow \{\mathbf{x}_i \mid A_i \neq \emptyset \wedge \mathbf{x}_i \in A_i\}$ ，且水流股數 $n \leftarrow |X|$ 。

3.4.4 蒸發(Evaporation)

蒸發作業是模擬自然界中水氣蒸發至大氣中的物理行為。WEA 藉由蒸發作業使一部分的水流質量保存在大氣中，當大氣中的水氣達到飽和度時，便透過降雨作業回到地表。令使用者自訂的水流蒸發率是 τ ，且 $0 < \tau \leq 0.1$ ，再令大氣中的水

氣含量定義為 σ ，每個代次所有水流都會蒸發部分質量至大氣中，故蒸發後大氣中的水氣含量

$$\sigma \leftarrow \sigma + \tau \sum_{i=1}^n \mu_i, \quad (3.20)$$

且蒸發後水流集合 X 中的每一條水流的質量更新為

$$\mu_i \leftarrow (1 - \sigma) \mu_i; i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.21)$$

水流的質量關係著水流是否能繼續存在於地表上繼續流動，當水流質量低於一個門檻值時，可將水流視為乾枯的水流並將之從水流集合中刪除。令使用者自訂的水流股數上限是 N ，則水流質量的門檻值是 $\bar{\mu}/N\bar{n}$ ，故質量不足的水流必須將其質量直接蒸發至大氣中，即

$$\sigma \leftarrow \sigma + \sum_{\forall i, \mu_i \leq \bar{\mu}/N\bar{n}} \mu_i, \quad (3.22)$$

且同時須從水流集合中刪除，即

$$X \leftarrow X - \{x_i | \mu_i \leq \bar{\mu}/N\bar{n}\}. \quad (3.23)$$

3.4.5 降雨(Precipitation)

降雨作業是模擬自然界中因為下雨而使得水流在廣泛在地表上流動的物理行為。WFA 利用降雨作業產生新的解代理人，藉此擴展演化求解搜尋的區域。當大氣中的水氣含量到達使用者自訂的飽和度時即執行降雨作業。令水氣飽和度是 $\rho\bar{\mu}$ ，而 ρ 是使用者自訂的降雨參數，且 $0 < \rho \leq 0.5$ 。因此，當大氣中的水氣含量 $\sigma \geq \rho\bar{\mu}$ 時便會執行降雨作業。

WFA 設定降雨產生的水流數與當代水流股數 n 相同，但是當代水流股數受到水流股數上限 N 的限制，且降雨產生的水流質量也不可小於 $\bar{\mu}/N$ ，因此本研究設

定降雨產生的水流股數

$$n'' = \min(n, N - n, \lfloor \sigma N / \bar{\mu} \rfloor), \quad (3.24)$$

且降雨產生新水流位置分為隨機新水流位置和過去最佳解鄰近移動的水流位置，每股水流以隨機的方式決定其降雨後的位置位置。令 $X'' = \{\mathbf{x}_1'', \mathbf{x}_2'', \dots, \mathbf{x}_{n''}''\}$ 是由降雨產生的水流集合，設 $\sim U(0,1)$ 是均勻分布於 $[0,1]$ 之間的隨機亂數，本研究定義當 $\sim U(0,1) \geq 0.7$ 時，降雨產生的水流位置 $\mathbf{x}_i''$ 是隨機新水流的位置，產生的方法和初始解產生法一樣使用 `ConstructAnActiveFlowAndSchedule()` 程序來建構一股水流的位置；而當 $\sim U(0,1) < 0.7$ 時，則降雨產生的水流位置 $\mathbf{x}_i''$ 是由過去最佳解的水流位置移動到鄰近的水流位置，首先隨機從迄今最佳解的水流集合中選取一股水流位置成為新水流 $\mathbf{x}_i''$ 其母水流 $\tilde{\mathbf{x}}_i''$ ，即 $\tilde{\mathbf{x}}_i'' \leftarrow \text{DrawAnElement}(X^*)$ ，然後令 $\alpha_i'' = \text{Random}(1, \tilde{L}_i'' - 2)$ 且 $\beta_i = 1$ ，接著使用與分流移步相同的程序由母水流位置 $\tilde{\mathbf{x}}_i''$ 移動到新的水流位置 $\mathbf{x}_i''$ 。而降雨產生的水流質量採取平均分配的方式，令 μ_i'' 是水流 $\mathbf{x}_i''$ 的質量，故 $\mu_i'' = \sigma / n''$ ；若降雨產生的水流位置

降雨作業完成後，大氣中的水氣含量 $\sigma \leftarrow 0$ ，且更新水流集合 $X \leftarrow X \cup X''$ 和水流數 $n \leftarrow n + n''$ 。若降雨作業有產生新的水流，則必須再執行匯流作業。

3.4.6 更新迄今最佳解

WFA 在一個演化代次的最後一個步驟是評估當代水流所代表的目標函數值和更新迄今最佳解。假設水流 i 是當代水流集合中的目標函數值最小的水流，即 $f_i = \min(f_1, f_2, \dots, f_n)$ ，若 $f_i < F$ ，則 $X^* \leftarrow X^* + \mathbf{x}_i$ ， $g \leftarrow g + 1$ ， $F \leftarrow f_i$ 。

3.5 WFA4JSP 整體演算程序

圖 3.20 展示本研究提出的 WFA4JSP 演算流程，其中停止條件可由使用者自行設計，而本研究提供演化代次的上限和目標函數式呼叫次數的上限這兩種停止條件，使用者可依需求擇一使用。

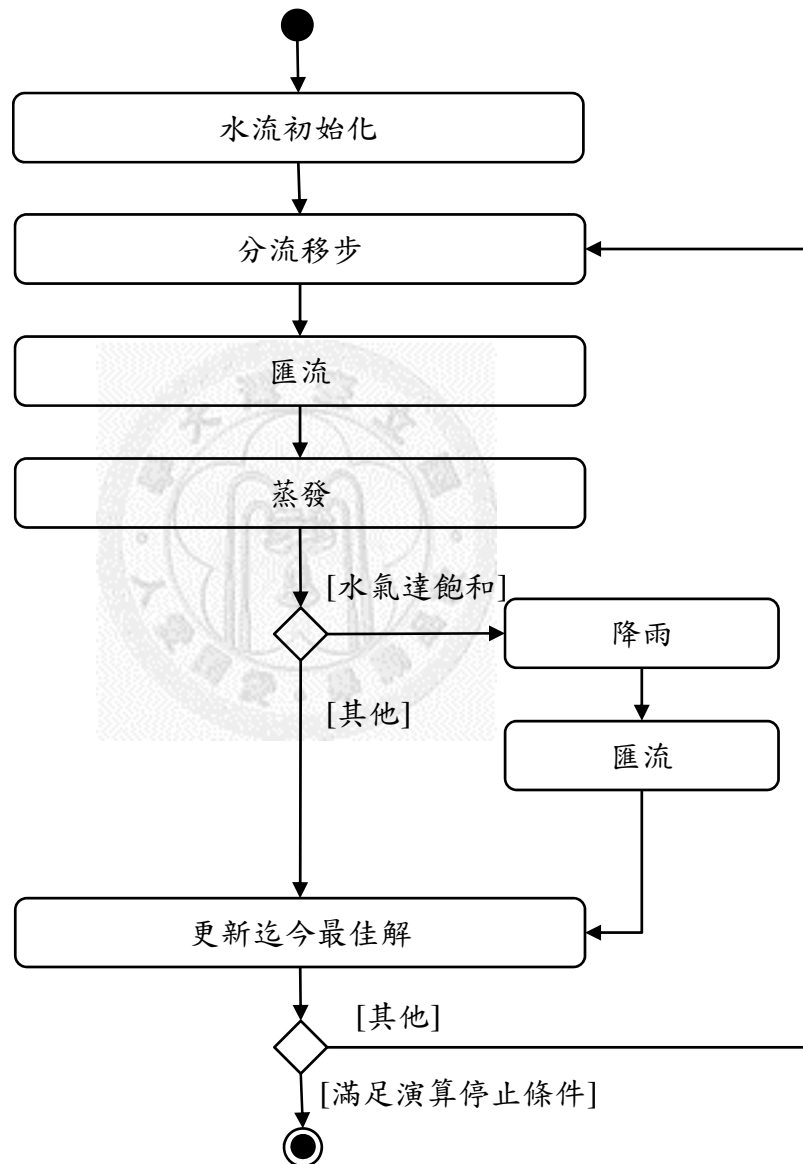


圖 3.20 本研究提出的 WFA4JSP 演算流程

第 4 章 仿水流優化演算法系統及範例驗證

本章展示以仿水流優化演算法求解零工式生產排程問題的求解系統並與優加劣減螞蟻擇段系統和兩階段粒子群演算法比較求解 OR-Library 中 JSP 標竿問題的效能。

4.1 WFA4JSP 系統

本研究根據第 3 章所提出的 WFA4JSP 的演算流程並使用 Microsoft Visual Studio 2010 作為開發工具，在 Microsoft .NET Framework 平台下以 C# 語言開發以仿水流演算法求解零工式生產排程問題(Water Flow-like Algorithm for Job-shop Scheduling Problems, WFA4JSP)系統。

圖 4.1 是 WFA4JSP 的使用者介面，主要分成參數設定、圖表展示、和求解過程中的相關數據這三個區塊，A 區塊由上到下分別是提供使用者輸入 WFA 參數、設定停止條件、問題描述、和問題的輸入資料；B 區塊是演化過程中以視覺效果展示求解的結果，其中四個圖形如圖 4.2 分別是以機器為基的排程結果甘特圖、以工作為基的排程結果甘特圖、以機器為基的加工步驟前行限制階層甘特圖、和求解過程中已知最佳解、迄今最佳解、和當代最佳解變化折線圖；而 C 區塊上半部是展示迄今最佳解的 MSC，而下半部則是展示求解過程中相關參數的數值變化。

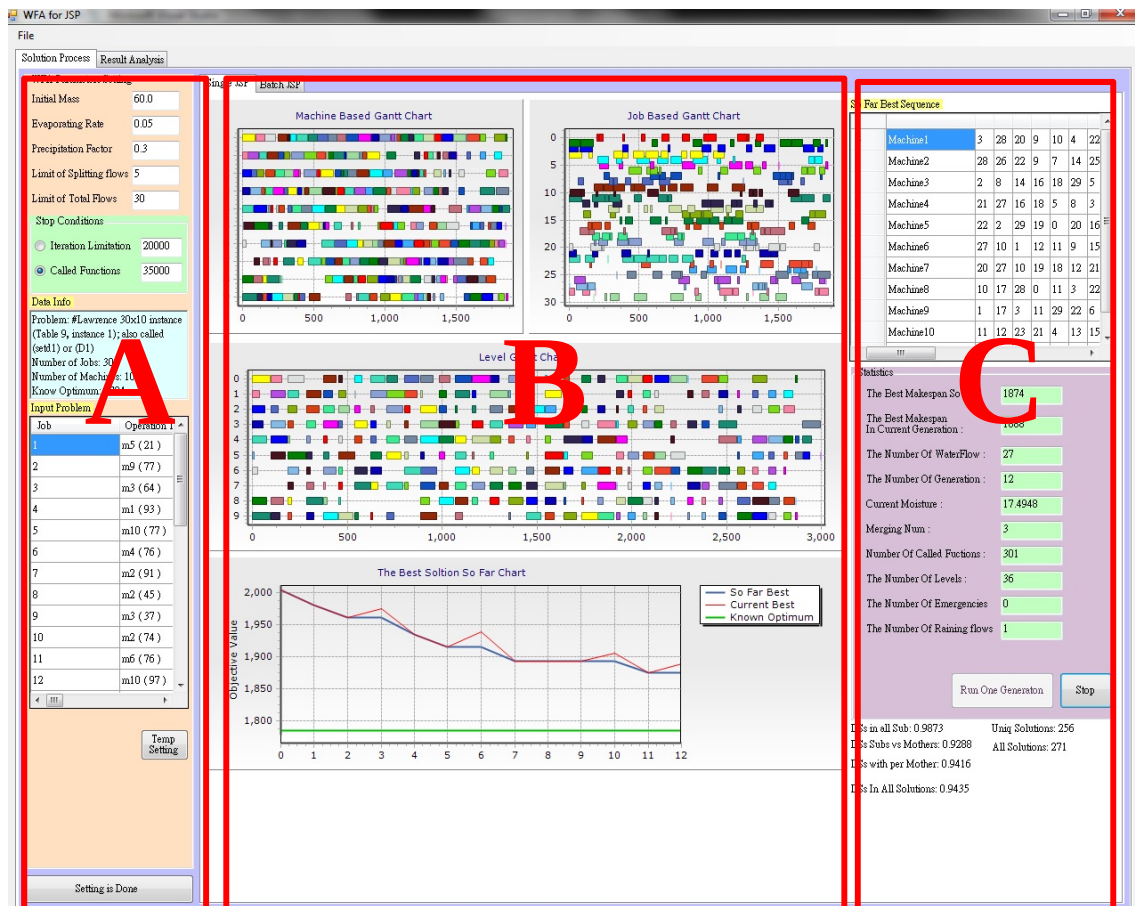
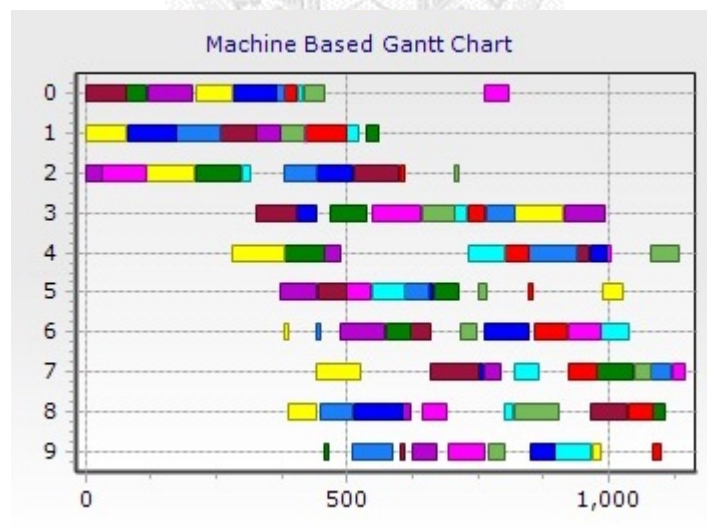
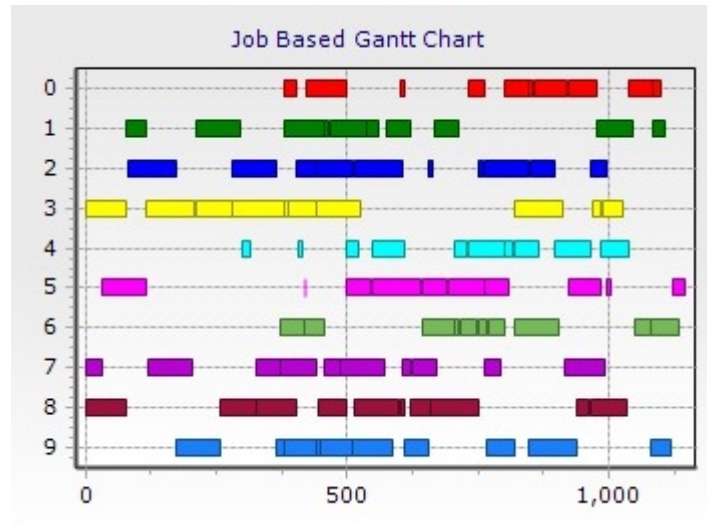


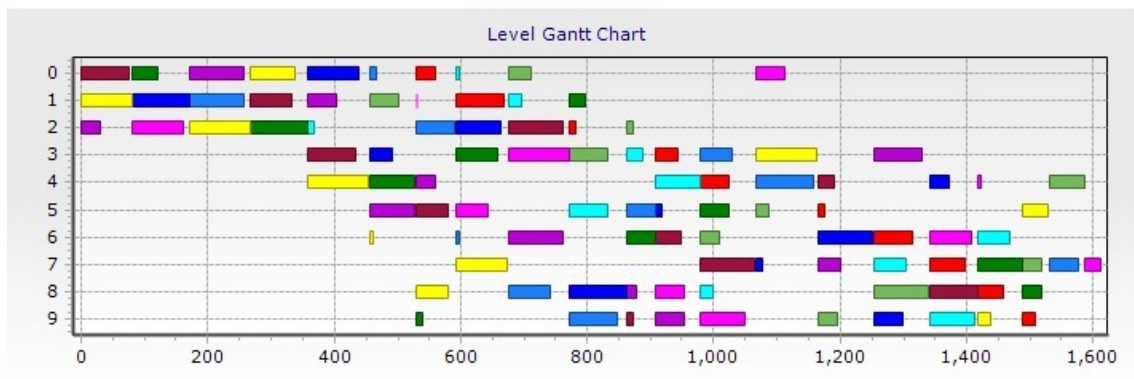
圖 4.1 WFA4JSP 使用者介面



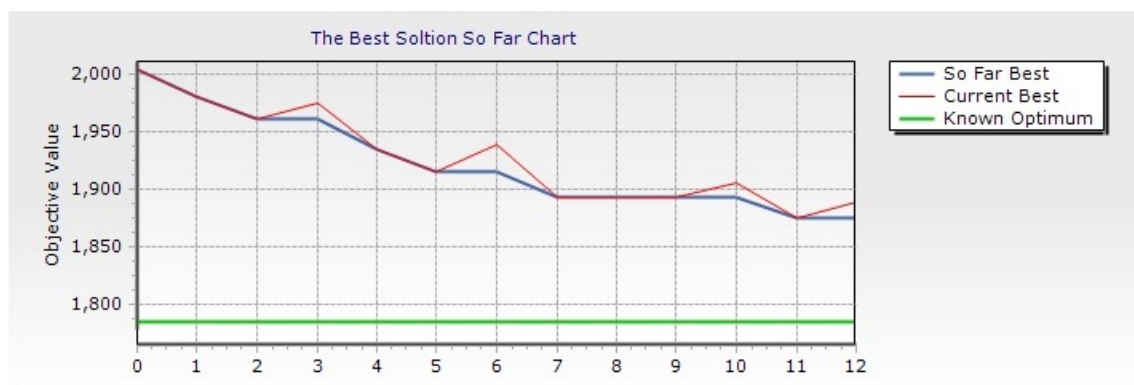
(a) 以機器為基的排程結果甘特圖



(b) 以工作為基的排程結果甘特圖



(c) 以機器為基的加工步驟前行限制階層甘特圖



(d) 求解過程中已知最佳解、迄今最佳解、和當代最佳解變化折線圖

圖 4.2 求解過程中的視覺效果展示圖

4.2 WFA4JSP 標竿問題求解效能分析

經過本研究的測試，建議由使用者數設定的 WFA4JSP 參數如表 4.1。

表 4.1 WFA4JSP 參數設定

參數名稱	參數值
總水流質量 $\bar{\mu}$	60
水氣蒸發率 τ	0.05
降雨因子 ρ	0.3
分流股數上限 $\bar{n}$	5
水流股數上限 N	30

在演化的停止條件設定上，本研究採用目標函式呼叫次數的上限作為停止條件，並根據不同的比較對象設定不同的上限值。求解效能的績效指標是比較在相同的停止條件之下相對誤差的大小，故定義

$$\text{相對誤差} = \frac{\text{求得目標函數值} - \text{已知最佳目標函數值}}{\text{已知最佳目標函數值}} \times 100\%。$$

本研究共有 2 組實驗測試的結果，第 1 組實驗是和林典翰 (2004)開發的優加劣減螞蟻擇段系統應用於組合問題比較，且設定和文獻相同的停止條件是目標函式呼叫次數 50000 次，每個問題求解 15 次，則演化最佳的求解結果如表 4.2，其中 BKS 代表每個問題的已知最佳解，而數據中以粗體表示演化最佳解和已知最佳解相同。

表 4.2 WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化最佳求解結果比較

Problem	size	BKS	優加劣減螞蟻擇段系統		WFA4JSP	
			演化最佳	相對誤差	演化最佳	相對誤差
FT06	6×6	55	55	0	55	0
FT10	10×10	930	937	0.8	960	3.2
LA16	10×10	945	946	0.1	951	0.6
LA17	10×10	784	784	0	784	0
LA18	10×10	848	848	0	848	0
LA19	10×10	842	848	0.7	871	3.4
LA20	10×10	902	907	0.6	923	2.3
LA21	15×10	1046	1077	3	1069	2.2
LA22	15×10	927	963	3.9	957	3.2
LA23	15×10	1032	1032	0	1032	0
LA24	15×10	935	970	3.7	981	4.9
LA25	15×10	977	1006	3	1024	4.8
LA26	20×10	1218	1253	2.9	1232	1.1

由表 4.2 可以看出，優加劣減螞蟻擇段系統可以找到最佳解的問題使用 WFA4JSP 同樣也可以找到，而這幾個問題的複雜度較低；在 13 比較的問題中，WFA4JSP 找到 4 個問題的最佳解，有 3 個問題的相對誤差較優加劣減螞蟻擇段系統低，而有 6 個問題的相對誤差較優加劣減螞蟻擇段系統高。而圖 4.3 是 WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統的標竿問題求解結果相對誤差比較。

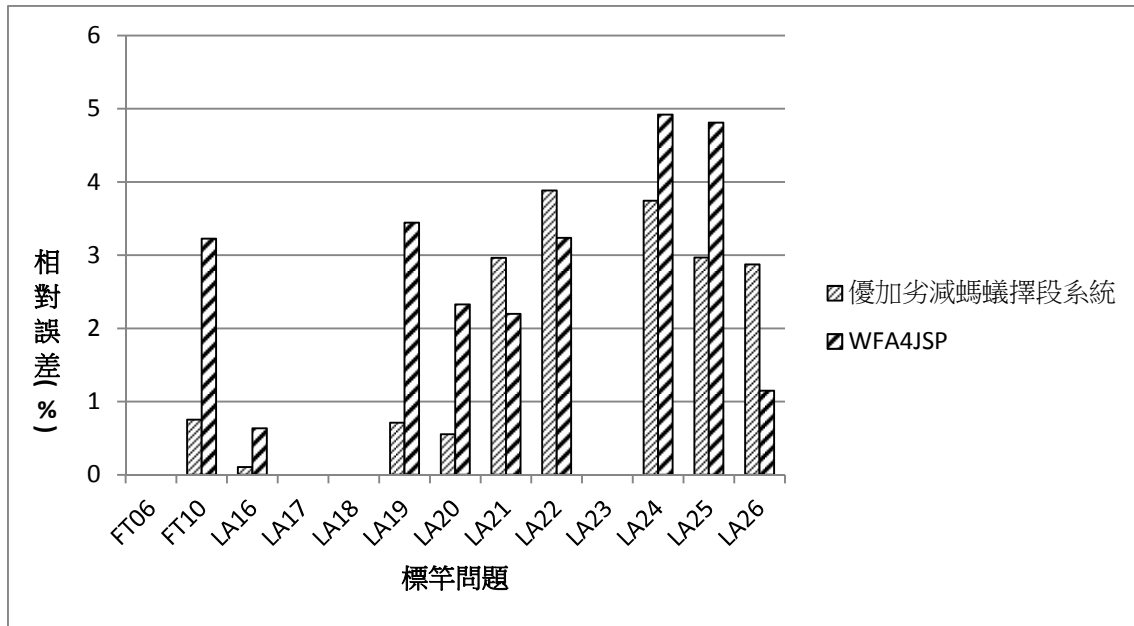


圖 4.3 WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統的演化最佳求解結果相對誤差比較

除了比較演化最佳之外，優加劣減螞蟻擇段系統也有提出平均的求解數據，經本研究比較的結果如表 4.3，在 10 個標竿問題中，WFA4JSP 有 3 個問題的演化平均解較優於優加劣減螞蟻擇段系統，但有 6 個問題則較差，另有 1 個問題是持平。而圖 4.4 是 WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化平均求解結果相對誤差比較。

表 4.3 WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化平均求解結果比較

Problem	size	BKS	優加劣減螞蟻擇段系統		WFA4JSP	
			演化平均	相對誤差	演化平均	相對誤差
LA16	10×10	945	974	3.1	965	2.1
LA17	10×10	784	787	0.4	791	0.9
LA18	10×10	848	853	0.6	859	1.3
LA19	10×10	842	853	1.3	883	4.9
LA20	10×10	902	907	0.6	931	3.2
LA21	15×10	1046	1091	4.3	1082	3.4
LA22	15×10	927	976	5.3	972	4.9
LA23	15×10	1032	1032	0	1032	0
LA24	15×10	935	986	5.5	998	6.7
LA25	15×10	977	1022	4.6	1046	7.1

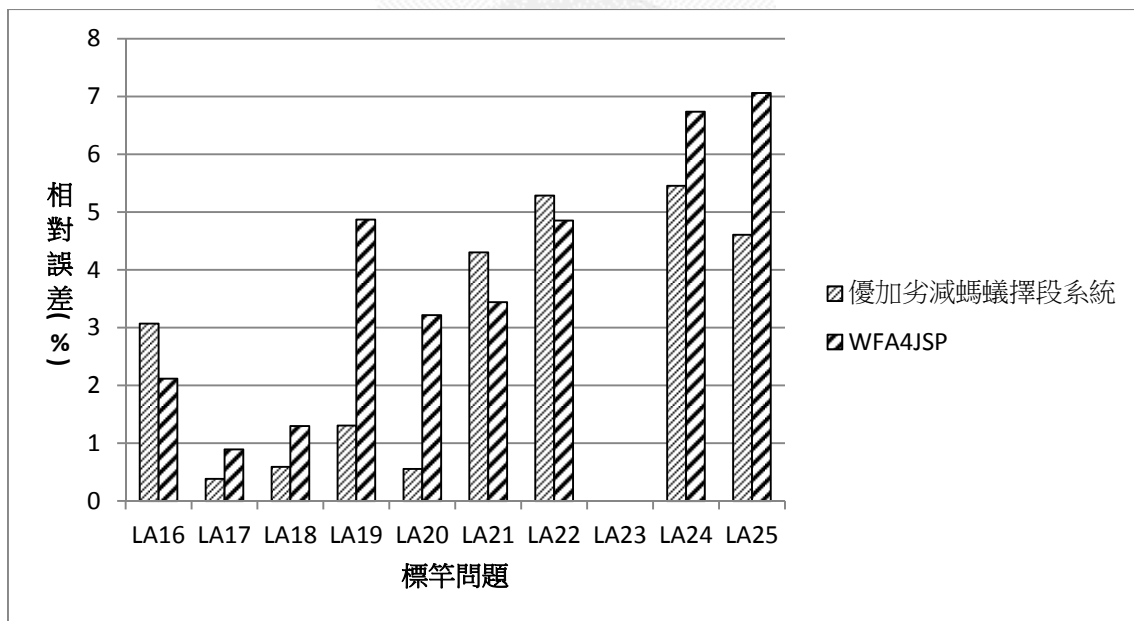


圖 4.4 WFA4JSP 和優加劣減螞蟻擇段系統演化平均求解結果相對誤差比較

比較本研究和螞蟻系統，因為螞蟻系統具有費洛蒙的記憶性，可以根據過往經驗選擇較佳的路徑，而 WFA 並沒有保留過往經驗的資訊，每次的搜尋都是以當下母水流的位置依照設計的移動方式移動到子水流的位置，因此使得水流並不一

定保證會朝最佳解的方向移動，故 WFA4JSP 部分問題的求解結果較差，但整體的平均誤差仍維持在小範圍內。

第 2 組實驗是與 Pratchayaborirak 和 Kachitvichyanukul (2011)共同開發的的兩階段粒子群演算法求解零工式生產排程問題(A two-stage PSO algorithm for job shop scheduling problem, 簡稱 2ST-PSO)比較。2ST-PSO 所設定的停止條件是第一階段演化代次上限 500 次且有 100 個粒子，而第二階段演化代次上限 1000 次且有 100 個粒子，因此設定和文獻相同的停止條件是目標函式呼叫次數 150000 次。由於 2ST-PSO 實驗的標竿問題較多，經過本研究整理之後刪去 2ST-PSO 和 WFA4JSP 皆可找到最佳解的標竿問題，只列出 2ST-PSO 或 WFA4JSP 未能找到最佳解的標竿問題做比較，則求解結果如表 4.4。



表 4.4 WFA4JSP 和 2ST-PSO 求解結果比較

Problem	size	BKS	2ST-PSO		WFA4JSP	
			演化最佳	相對誤差	演化最佳	相對誤差
FT10	10×10	930	937	0.8	958	3
LA16	10×10	945	945	0	951	0.6
LA18	10×10	848	850	0.2	848	0
LA19	10×10	842	851	1.1	869	3.2
LA20	10×10	902	907	0.6	923	2.3
LA21	15×10	1046	1092	4.4	1069	2.2
LA22	15×10	927	957	3.2	957	3.2
LA24	15×10	935	967	3.4	981	4.9
LA25	15×10	977	1015	3.9	1024	4.8
LA26	20×10	1218	1266	3.9	1232	1.1
LA27	20×10	1235	1308	5.9	1308	5.9
LA28	20×10	1216	1256	3.3	1279	5.2
LA29	20×10	1152	1251	8.6	1283	11.4
LA30	20×10	1355	1387	2.4	1405	3.7
LA32	30×10	1850	1857	0.4	1850	0
LA33	30×10	1719	1719	0	1734	0.9
LA34	30×10	1721	1766	2.6	1759	2.2
LA35	30×10	1888	1888	0	1912	1.3
LA36	15×15	1268	1311	3.4	1347	6.2
LA37	15×15	1397	1473	5.4	1446	3.5
LA38	15×15	1196	1282	7.2	1253	4.8
LA39	15×15	1233	1283	4.1	1301	5.5
LA40	15×15	1222	1290	5.6	1279	4.7

由表 4.4 可以看出，在 23 個標竿問題中，WFA4JSP 有 13 個問題的相對誤差較 2ST-PSO 高，而有 10 個問題的相對誤差較 2ST-PSO 低。整體看來，WFA4JSP 和 2ST-PSO 的求解結果不相上下，但是 2ST-PSO 在其系統中設計當演算到達設定的代次便會執行 CB 區域搜尋法(Yamada 和 Nakano 1995)，而本研究並沒有使用任何的區域搜尋法。圖 4.5 是 WFA4JSP 和 2ST-PSO 的標竿問題求解結果相對誤差比較。

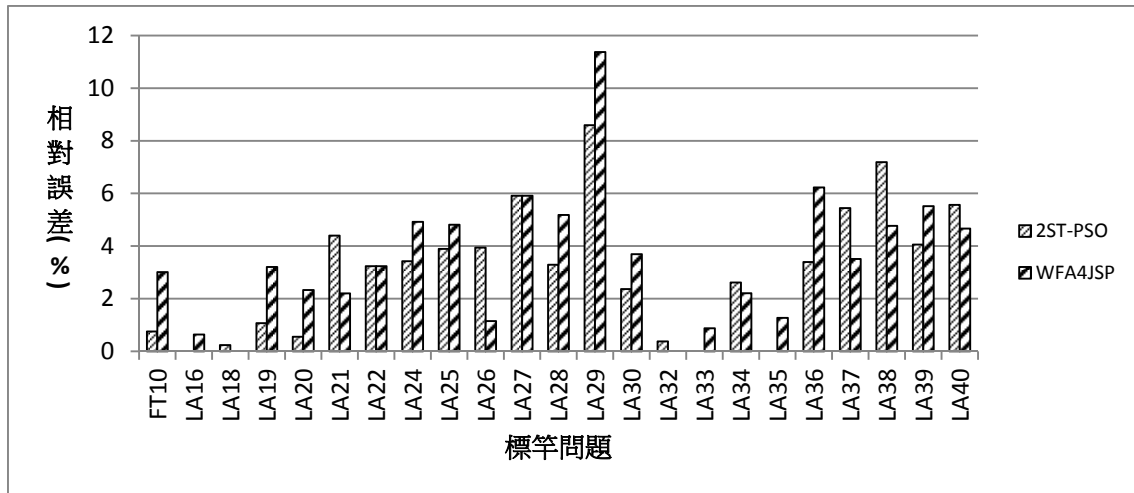


圖 4.5 WFA4JSP 和 2ST-PSO 的標竿問題求解結果相對誤差比較

4.3 小結

根據標竿問題測試的結果顯示，WFA4JSP 演化求解的效果在大多數的問題上與已知最佳解的誤差都不至於太大，即便沒有使用任何的區域搜尋法，求解問題的收斂效果都能達到頗佳的水準，且因為使用 MSC 編碼法搭配有效排結果程篩選機制而在分流移步作業中能更有效率的進行解的搜尋，並透過降雨作業使得演化不至於長期困在區域最佳解中。

第 5 章 結論與建議

本研究承襲仿水流演算法的設計概念，探討由零工式生產排程問題的加工步驟前行限制關係和機器加工前行限制關係所形成的前行階層特性，並利用前行階層特性和機器加工步驟排序編碼法設計仿水流演算法求解零工式生產排程問題的演算技術，同時開發求解零工式生產排程問題的仿水流演算法系統來驗證演算法的可行性，最後與優加劣減螞蟻擇段系統和兩階段粒子群演算法比較求解效能。

5.1 結論

仿水流演算法是近年所提出的創新演算法，主要是仿照水流在自然界流動循環的特性設計而成。而在開發之初，由於連續型問題與自然空間較為相似，故其在求解連續型問題的效能都有不錯的結果，但是使用於求解離散型問題時，則因求解問題的限制使得最初部分水流特性的不適用而使得效能不佳，故本研究承襲仿水流演算法的四大作業，並針對零工式生產問題的加工步驟前行限制階層特性和因為使用機器加工步驟排序編碼法所產生的機器加工前行限制而設計專門的演化技術，同時並開發 WFA4JSP 系統來進行演化程序可行性的驗證。與其他啟發式演算法比較分析後，得到以下的結論：

1. 本研究所使用的機器加工步驟排序編碼法在解空間中的搜尋確實比傳統的加工步驟排序編碼法更有效率，節省許多重複搜尋的浪費，同時利用 PMBLOR 移步技術可以很快的由母水流移動到一股子水流的位置且不會產生不合理解。
2. 除了使用機器加工步驟排序編碼法增加求解效率之外，本研究也將零工式生

產排程問題固有的有效排程結果特性加入水流移動的技術中，更進一步的使解代理人能在較小的解空間中進行搜索。

3. 針對仿水流演算法分流數的設計本研究提出較為完整的模型，使決定分流股數時除了參看目標函數值的變動量之外，並同時將母水流質量和水流股數上限納入模型中進行決策。
4. 本研究有別於其他啟發式演算法的作法，除了修改演算法的細節套用到問題的求解上，另外還特別針對零工式生產排程問題作深入的探討，並發現零工式生產排程問題由加工步驟的前行限制關係和機器加工步驟前行限制關係互相影響產生的前行限制階層特性，最後利用前行限制階層開發出專屬於求解零工式生產排程問題的仿水流演算法技術和系統。
5. 本論文是第一個使用仿水流演算法求解於零工式生產排程標竿問題的研究，初步的結果發現仿水流演算法不論是在求解複雜度較高的問題或複雜度較低的問題都能有不錯的表現，雖然並無法找到所有問題的最佳解，但是收斂的效果並不會太差。

5.2 未來研究和建議

仿水流演算法，故本研究針對仿水流演算法求解零工式生產排程問題提出以下的建議供後續研究參考：

1. 為配合 MSC 編碼法來達到更有效的演化，本研究設計 PMBLOR 法用於分流移步作業上，但是重新指派加工作業的區段起始階層和重新指派加工作業的階層數是採取隨機的方式決定，因此不能確保解的演化必然會朝著最佳解的方向移動，未來建議可設計更有效率的移動方式。

2. JSP 的前行階層特性還有很多可以深入探討的空間，例如使用前行限制階層和後繼限制階層的關係來進行移動，建議未來可針對階層設計更有效的演化技術。
3. 本研究考量離散型問題較難以使用 WFA 原始設計由母水流位置加上速度向量移動到子水流位置的水流位置移動方式，因此並沒有使用水流的速度參數，建議未來可研擬將水流的速度加入求解離散型問題的方法。
4. 仿水流演算法部分演算作業經本研究的測試發現並無法達到預期的效果，舉例來說，水流質量是影響水流存在地表空間的一個重要因子，但由於離散型問題在求解過程中屬於跳躍式的搜尋，目標函數值通常變動的幅度很大，若依目標函數值的大小分配質量，則常會導致水流的演化失去連續性。建議未來的研究可以針對仿水流的每一個作業再做深入的研究或修改。



REFERENCE

- Barker, J.R. & McMahon, G.B., 1985. Scheduling the general job-shop. *Management Science*, 31 (5), 594-598 Available from: <http://www.jstor.org/stable/2631778>.
- Kennedy, J. & Eberhart, R., Year. Particle swarm optimization. *Neural Networks, 1995. Proceedings., IEEE International Conference on*, 1942-1948 vol.4.
- Pratchayaborirak, T. & Kachitvichyanukul, V., 2011. A two-stage pso algorithm for job shop scheduling problem. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 6 (2), 84-93.
- Surekha, P. & S.Sumathi, 2010. Solving fuzzy based job shop scheduling problems using ga and aco. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 1 (2), 95-102.
- Yamada, T. & Nakano, R., Year. A genetic algorithm with multi-step crossover for job-shop scheduling problems. *Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, 1995. GALEZIA. First International Conference on (Conf. Publ. No. 414)*, 146-151.
- Yang, F.C. & Wang, Y.P., 2007. Water flow-like algorithm for object grouping problems. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24 (6), 475-488.
- 潘嘉琪，2008，求解一般性排序優化問題的仿水流優化演算求解法。台灣大學工業工程學研究所碩士論文。
- 林典翰，2004，優加劣減螞蟻擇段系統應用於組合問題。台灣大學工業工程學研究所碩士論文。

附錄 A

以下是本研究所整理且實驗的標竿問題輸入資料，括號前的數字代表加工步驟所需要的機器，括號內的數字則是加工時間。

Problem name: LA01

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (21)	m0 (53)	m4 (95)	m3 (55)	m2 (34)
1	m0 (21)	m3 (52)	m4 (16)	m2 (26)	m1 (71)
2	m3 (39)	m4 (98)	m1 (42)	m2 (31)	m0 (12)
3	m1 (77)	m0 (55)	m4 (79)	m2 (66)	m3 (77)
4	m0 (83)	m3 (34)	m2 (64)	m1 (19)	m4 (37)
5	m1 (54)	m2 (43)	m4 (79)	m0 (92)	m3 (62)
6	m3 (69)	m4 (77)	m1 (87)	m2 (87)	m0 (93)
7	m2 (38)	m0 (60)	m1 (41)	m3 (24)	m4 (83)
8	m3 (17)	m1 (49)	m4 (25)	m0 (44)	m2 (98)
9	m4 (77)	m3 (79)	m2 (43)	m1 (75)	m0 (96)

Problem name: LA02

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m0 (20)	m3 (87)	m1 (31)	m4 (76)	m2 (17)
1	m4 (25)	m2 (32)	m0 (24)	m1 (18)	m3 (81)
2	m1 (72)	m2 (23)	m4 (28)	m0 (58)	m3 (99)
3	m2 (86)	m1 (76)	m4 (97)	m0 (45)	m3 (90)
4	m4 (27)	m0 (42)	m3 (48)	m2 (17)	m1 (46)
5	m1 (67)	m0 (98)	m4 (48)	m3 (27)	m2 (62)
6	m4 (28)	m1 (12)	m3 (19)	m0 (80)	m2 (50)
7	m1 (63)	m0 (94)	m2 (98)	m3 (50)	m4 (80)
8	m4 (14)	m0 (75)	m2 (50)	m1 (41)	m3 (55)
9	m4 (72)	m2 (18)	m1 (37)	m3 (79)	m0 (61)

Problem name: LA03

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (23)	m2 (45)	m0 (82)	m4 (84)	m3 (38)
1	m2 (21)	m1 (29)	m0 (18)	m4 (41)	m3 (50)
2	m2 (38)	m3 (54)	m4 (16)	m0 (52)	m1 (52)
3	m4 (37)	m0 (54)	m2 (74)	m1 (62)	m3 (57)
4	m4 (57)	m0 (81)	m1 (61)	m3 (68)	m2 (30)
5	m4 (81)	m0 (79)	m1 (89)	m2 (89)	m3 (11)
6	m3 (33)	m2 (20)	m0 (91)	m4 (20)	m1 (66)
7	m4 (24)	m1 (84)	m0 (32)	m2 (55)	m3 (8)
8	m4 (56)	m0 (7)	m3 (54)	m2 (64)	m1 (39)
9	m4 (40)	m1 (83)	m0 (19)	m2 (8)	m3 (7)

Problem name: LA04

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m0 (12)	m2 (94)	m3 (92)	m4 (91)	m1 (7)
1	m1 (19)	m3 (11)	m4 (66)	m2 (21)	m0 (87)
2	m1 (14)	m0 (75)	m3 (13)	m4 (16)	m2 (20)
3	m2 (95)	m4 (66)	m0 (7)	m3 (7)	m1 (77)
4	m1 (45)	m3 (6)	m4 (89)	m0 (15)	m2 (34)
5	m3 (77)	m2 (20)	m0 (76)	m4 (88)	m1 (53)
6	m2 (74)	m1 (88)	m0 (52)	m3 (27)	m4 (9)
7	m1 (88)	m3 (69)	m0 (62)	m4 (98)	m2 (52)
8	m2 (61)	m4 (9)	m0 (62)	m1 (52)	m3 (90)
9	m2 (54)	m4 (5)	m3 (59)	m1 (15)	m0 (88)

Problem name: LA05

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (72)	m0 (87)	m4 (95)	m2 (66)	m3 (60)
1	m4 (5)	m3 (35)	m0 (48)	m2 (39)	m1 (54)
2	m1 (46)	m3 (20)	m2 (21)	m0 (97)	m4 (55)
3	m0 (59)	m3 (19)	m4 (46)	m1 (34)	m2 (37)
4	m4 (23)	m2 (73)	m3 (25)	m1 (24)	m0 (28)
5	m3 (28)	m0 (45)	m4 (5)	m1 (78)	m2 (83)
6	m0 (53)	m3 (71)	m1 (37)	m4 (29)	m2 (12)
7	m4 (12)	m2 (87)	m3 (33)	m1 (55)	m0 (38)
8	m2 (49)	m3 (83)	m1 (40)	m0 (48)	m4 (7)
9	m2 (65)	m3 (17)	m0 (90)	m4 (27)	m1 (23)

Problem name: LA06

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (21)	m2 (34)	m4 (95)	m0 (53)	m3 (55)
1	m3 (52)	m4 (16)	m1 (71)	m2 (26)	m0 (21)
2	m2 (31)	m0 (12)	m1 (42)	m3 (39)	m4 (98)
3	m3 (77)	m1 (77)	m4 (79)	m0 (55)	m2 (66)
4	m4 (37)	m3 (34)	m2 (64)	m1 (19)	m0 (83)
5	m2 (43)	m1 (54)	m0 (92)	m3 (62)	m4 (79)
6	m0 (93)	m3 (69)	m1 (87)	m4 (77)	m2 (87)
7	m0 (60)	m1 (41)	m2 (38)	m4 (83)	m3 (24)
8	m2 (98)	m3 (17)	m4 (25)	m0 (44)	m1 (49)
9	m0 (96)	m4 (77)	m3 (79)	m1 (75)	m2 (43)
10	m4 (28)	m2 (35)	m0 (95)	m3 (76)	m1 (7)
11	m0 (61)	m4 (10)	m2 (95)	m1 (9)	m3 (35)
12	m4 (59)	m3 (16)	m1 (91)	m2 (59)	m0 (46)
13	m4 (43)	m1 (52)	m0 (28)	m2 (27)	m3 (50)
14	m0 (87)	m1 (45)	m2 (39)	m4 (9)	m3 (41)

Problem name: LA07

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m0 (47)	m4 (57)	m1 (71)	m3 (96)	m2 (14)
1	m0 (75)	m1 (60)	m4 (22)	m3 (79)	m2 (65)
2	m3 (32)	m0 (33)	m2 (69)	m1 (31)	m4 (58)
3	m0 (44)	m1 (34)	m4 (51)	m3 (58)	m2 (47)
4	m3 (29)	m1 (44)	m0 (62)	m2 (17)	m4 (8)
5	m1 (15)	m2 (40)	m0 (97)	m4 (38)	m3 (66)
6	m2 (58)	m1 (39)	m0 (57)	m4 (20)	m3 (50)
7	m2 (57)	m3 (32)	m4 (87)	m0 (63)	m1 (21)
8	m4 (56)	m0 (84)	m2 (90)	m1 (85)	m3 (61)
9	m4 (15)	m0 (20)	m1 (67)	m3 (30)	m2 (70)
10	m4 (84)	m0 (82)	m1 (23)	m2 (45)	m3 (38)
11	m3 (50)	m2 (21)	m0 (18)	m4 (41)	m1 (29)
12	m4 (16)	m1 (52)	m0 (52)	m2 (38)	m3 (54)
13	m4 (37)	m0 (54)	m3 (57)	m2 (74)	m1 (62)
14	m4 (57)	m1 (61)	m0 (81)	m2 (30)	m3 (68)

Problem name: LA08

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m3 (92)	m2 (94)	m0 (12)	m4 (91)	m1 (7)
1	m2 (21)	m1 (19)	m0 (87)	m3 (11)	m4 (66)
2	m1 (14)	m3 (13)	m0 (75)	m4 (16)	m2 (20)
3	m2 (95)	m4 (66)	m0 (7)	m1 (77)	m3 (7)
4	m2 (34)	m4 (89)	m3 (6)	m1 (45)	m0 (15)
5	m4 (88)	m3 (77)	m2 (20)	m1 (53)	m0 (76)
6	m4 (9)	m3 (27)	m0 (52)	m1 (88)	m2 (74)
7	m3 (69)	m2 (52)	m0 (62)	m1 (88)	m4 (98)
8	m3 (90)	m0 (62)	m4 (9)	m2 (61)	m1 (52)
9	m4 (5)	m2 (54)	m3 (59)	m0 (88)	m1 (15)
10	m0 (41)	m1 (50)	m4 (78)	m3 (53)	m2 (23)
11	m0 (38)	m4 (72)	m2 (91)	m3 (68)	m1 (71)
12	m0 (45)	m3 (95)	m4 (52)	m2 (25)	m1 (6)
13	m3 (30)	m1 (66)	m0 (23)	m4 (36)	m2 (17)
14	m2 (95)	m0 (71)	m3 (76)	m1 (8)	m4 (88)

Problem name: LA09

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (66)	m3 (85)	m2 (84)	m0 (62)	m4 (19)
1	m3 (59)	m1 (64)	m2 (46)	m4 (13)	m0 (25)
2	m4 (88)	m3 (80)	m1 (73)	m2 (53)	m0 (41)
3	m0 (14)	m1 (67)	m2 (57)	m3 (74)	m4 (47)
4	m0 (84)	m4 (64)	m2 (41)	m3 (84)	m1 (78)
5	m0 (63)	m3 (28)	m1 (46)	m2 (26)	m4 (52)
6	m3 (10)	m2 (17)	m4 (73)	m1 (11)	m0 (64)
7	m2 (67)	m1 (97)	m3 (95)	m4 (38)	m0 (85)
8	m2 (95)	m4 (46)	m0 (59)	m1 (65)	m3 (93)
9	m2 (43)	m4 (85)	m3 (32)	m1 (85)	m0 (60)
10	m4 (49)	m3 (41)	m2 (61)	m0 (66)	m1 (90)
11	m1 (17)	m0 (23)	m3 (70)	m4 (99)	m2 (49)
12	m4 (40)	m3 (73)	m0 (73)	m1 (98)	m2 (68)
13	m3 (57)	m1 (9)	m2 (7)	m0 (13)	m4 (98)
14	m0 (37)	m1 (85)	m2 (17)	m4 (79)	m3 (41)

Problem name: LA10

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (58)	m2 (44)	m3 (5)	m0 (9)	m4 (58)
1	m1 (89)	m0 (97)	m4 (96)	m3 (77)	m2 (84)
2	m0 (77)	m1 (87)	m2 (81)	m4 (39)	m3 (85)
3	m3 (57)	m1 (21)	m2 (31)	m0 (15)	m4 (73)
4	m2 (48)	m0 (40)	m1 (49)	m3 (70)	m4 (71)
5	m3 (34)	m4 (82)	m2 (80)	m0 (10)	m1 (22)
6	m1 (91)	m4 (75)	m0 (55)	m2 (17)	m3 (7)
7	m2 (62)	m3 (47)	m1 (72)	m4 (35)	m0 (11)
8	m0 (64)	m3 (75)	m4 (50)	m1 (90)	m2 (94)
9	m2 (67)	m4 (20)	m3 (15)	m0 (12)	m1 (71)
10	m0 (52)	m4 (93)	m3 (68)	m2 (29)	m1 (57)
11	m2 (70)	m0 (58)	m1 (93)	m4 (7)	m3 (77)
12	m3 (27)	m2 (82)	m1 (63)	m4 (6)	m0 (95)
13	m1 (87)	m2 (56)	m4 (36)	m0 (26)	m3 (48)
14	m3 (76)	m2 (36)	m0 (36)	m4 (15)	m1 (8)

Problem name: LA11

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m2 (34)	m1 (21)	m0 (53)	m3 (55)	m4 (95)
1	m0 (21)	m3 (52)	m1 (71)	m4 (16)	m2 (26)
2	m0 (12)	m1 (42)	m2 (31)	m4 (98)	m3 (39)
3	m2 (66)	m3 (77)	m4 (79)	m0 (55)	m1 (77)
4	m0 (83)	m4 (37)	m3 (34)	m1 (19)	m2 (64)
5	m4 (79)	m2 (43)	m0 (92)	m3 (62)	m1 (54)
6	m0 (93)	m4 (77)	m2 (87)	m1 (87)	m3 (69)
7	m4 (83)	m3 (24)	m1 (41)	m2 (38)	m0 (60)
8	m4 (25)	m1 (49)	m0 (44)	m2 (98)	m3 (17)
9	m0 (96)	m1 (75)	m2 (43)	m4 (77)	m3 (79)
10	m0 (95)	m3 (76)	m1 (7)	m4 (28)	m2 (35)
11	m4 (10)	m2 (95)	m0 (61)	m1 (9)	m3 (35)
12	m1 (91)	m2 (59)	m4 (59)	m0 (46)	m3 (16)
13	m2 (27)	m1 (52)	m4 (43)	m0 (28)	m3 (50)
14	m4 (9)	m0 (87)	m3 (41)	m2 (39)	m1 (45)
15	m1 (54)	m0 (20)	m4 (43)	m3 (14)	m2 (71)
16	m4 (33)	m1 (28)	m3 (26)	m0 (78)	m2 (37)
17	m1 (89)	m0 (33)	m2 (8)	m3 (66)	m4 (42)
18	m4 (84)	m0 (69)	m2 (94)	m1 (74)	m3 (27)
19	m4 (81)	m2 (45)	m1 (78)	m3 (69)	m0 (96)

Problem name: LA12

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m1 (23)	m0 (82)	m4 (84)	m2 (45)	m3 (38)
1	m3 (50)	m4 (41)	m1 (29)	m0 (18)	m2 (21)
2	m4 (16)	m3 (54)	m1 (52)	m2 (38)	m0 (52)
3	m1 (62)	m3 (57)	m4 (37)	m2 (74)	m0 (54)
4	m3 (68)	m1 (61)	m2 (30)	m0 (81)	m4 (57)
5	m1 (89)	m2 (89)	m3 (11)	m0 (79)	m4 (81)
6	m1 (66)	m0 (91)	m3 (33)	m4 (20)	m2 (20)
7	m3 (8)	m4 (24)	m2 (55)	m0 (32)	m1 (84)
8	m0 (7)	m2 (64)	m1 (39)	m4 (56)	m3 (54)
9	m0 (19)	m4 (40)	m3 (7)	m2 (8)	m1 (83)
10	m0 (63)	m2 (64)	m3 (91)	m4 (40)	m1 (6)
11	m1 (42)	m3 (61)	m4 (15)	m2 (98)	m0 (74)
12	m1 (80)	m0 (26)	m3 (75)	m4 (6)	m2 (87)
13	m2 (39)	m4 (22)	m0 (75)	m3 (24)	m1 (44)
14	m1 (15)	m3 (79)	m4 (8)	m0 (12)	m2 (20)
15	m3 (26)	m2 (43)	m0 (80)	m4 (22)	m1 (61)
16	m2 (62)	m1 (36)	m0 (63)	m3 (96)	m4 (40)
17	m1 (33)	m3 (18)	m0 (22)	m4 (5)	m2 (10)
18	m2 (64)	m4 (64)	m0 (89)	m1 (96)	m3 (95)
19	m2 (18)	m4 (23)	m3 (15)	m1 (38)	m0 (8)

Problem name: LA13

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m3 (60)	m0 (87)	m1 (72)	m4 (95)	m2 (66)
1	m1 (54)	m0 (48)	m2 (39)	m3 (35)	m4 (5)
2	m3 (20)	m1 (46)	m0 (97)	m2 (21)	m4 (55)
3	m2 (37)	m0 (59)	m3 (19)	m1 (34)	m4 (46)
4	m2 (73)	m3 (25)	m1 (24)	m0 (28)	m4 (23)
5	m1 (78)	m3 (28)	m2 (83)	m0 (45)	m4 (5)
6	m3 (71)	m1 (37)	m2 (12)	m4 (29)	m0 (53)
7	m4 (12)	m3 (33)	m1 (55)	m2 (87)	m0 (38)
8	m0 (48)	m1 (40)	m2 (49)	m3 (83)	m4 (7)
9	m0 (90)	m4 (27)	m2 (65)	m3 (17)	m1 (23)
10	m0 (62)	m3 (85)	m1 (66)	m2 (84)	m4 (19)
11	m3 (59)	m2 (46)	m4 (13)	m1 (64)	m0 (25)
12	m2 (53)	m1 (73)	m3 (80)	m4 (88)	m0 (41)
13	m2 (57)	m4 (47)	m0 (14)	m1 (67)	m3 (74)
14	m2 (41)	m4 (64)	m3 (84)	m1 (78)	m0 (84)
15	m4 (52)	m3 (28)	m2 (26)	m0 (63)	m1 (46)
16	m1 (11)	m0 (64)	m3 (10)	m4 (73)	m2 (17)
17	m4 (38)	m3 (95)	m0 (85)	m1 (97)	m2 (67)
18	m3 (93)	m1 (65)	m2 (95)	m0 (59)	m4 (46)
19	m0 (60)	m1 (85)	m2 (43)	m4 (85)	m3 (32)

Problem name: LA14

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m3 (5)	m4 (58)	m2 (44)	m0 (9)	m1 (58)
1	m1 (89)	m4 (96)	m0 (97)	m2 (84)	m3 (77)
2	m2 (81)	m3 (85)	m1 (87)	m4 (39)	m0 (77)
3	m0 (15)	m3 (57)	m4 (73)	m1 (21)	m2 (31)
4	m2 (48)	m4 (71)	m3 (70)	m0 (40)	m1 (49)
5	m0 (10)	m4 (82)	m3 (34)	m2 (80)	m1 (22)
6	m2 (17)	m0 (55)	m1 (91)	m4 (75)	m3 (7)
7	m3 (47)	m2 (62)	m1 (72)	m4 (35)	m0 (11)
8	m1 (90)	m2 (94)	m4 (50)	m0 (64)	m3 (75)
9	m3 (15)	m2 (67)	m0 (12)	m4 (20)	m1 (71)
10	m4 (93)	m2 (29)	m0 (52)	m1 (57)	m3 (68)
11	m3 (77)	m1 (93)	m0 (58)	m2 (70)	m4 (7)
12	m1 (63)	m3 (27)	m0 (95)	m4 (6)	m2 (82)
13	m4 (36)	m0 (26)	m3 (48)	m2 (56)	m1 (87)
14	m2 (36)	m1 (8)	m4 (15)	m3 (76)	m0 (36)
15	m4 (78)	m1 (84)	m3 (41)	m0 (30)	m2 (76)
16	m1 (78)	m0 (75)	m4 (88)	m3 (13)	m2 (81)
17	m0 (54)	m4 (40)	m2 (13)	m1 (82)	m3 (29)
18	m1 (26)	m4 (82)	m0 (52)	m3 (6)	m2 (6)
19	m3 (54)	m1 (64)	m0 (54)	m2 (32)	m4 (88)

Problem name: LA15

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 5

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4
0	m0 (6)	m2 (40)	m1 (81)	m3 (37)	m4 (19)
1	m2 (40)	m3 (32)	m0 (55)	m4 (81)	m1 (9)
2	m1 (46)	m4 (65)	m2 (70)	m3 (55)	m0 (77)
3	m2 (21)	m4 (65)	m0 (64)	m3 (25)	m1 (15)
4	m2 (85)	m0 (40)	m1 (44)	m3 (24)	m4 (37)
5	m0 (89)	m4 (29)	m1 (83)	m3 (31)	m2 (84)
6	m4 (59)	m3 (38)	m1 (80)	m2 (30)	m0 (8)
7	m0 (80)	m2 (56)	m1 (77)	m4 (41)	m3 (97)
8	m4 (56)	m0 (91)	m3 (50)	m2 (71)	m1 (17)
9	m1 (40)	m0 (88)	m4 (59)	m2 (7)	m3 (80)
10	m0 (45)	m1 (29)	m2 (8)	m4 (77)	m3 (58)
11	m2 (36)	m0 (54)	m3 (96)	m1 (9)	m4 (10)
12	m0 (28)	m2 (73)	m1 (98)	m3 (92)	m4 (87)
13	m0 (70)	m3 (86)	m2 (27)	m1 (99)	m4 (96)
14	m1 (95)	m0 (59)	m4 (56)	m3 (85)	m2 (41)
15	m1 (81)	m2 (92)	m4 (32)	m0 (52)	m3 (39)
16	m1 (7)	m4 (22)	m2 (12)	m0 (88)	m3 (60)
17	m3 (45)	m0 (93)	m2 (69)	m4 (49)	m1 (27)
18	m0 (21)	m1 (84)	m2 (61)	m3 (68)	m4 (26)
19	m1 (82)	m2 (33)	m4 (71)	m0 (99)	m3 (44)

Problem name: LA16

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m1 (21)	m6 (71)	m9 (16)	m8 (52)	m7 (26)	m2 (34)	m0 (53)	m4 (21)	m3 (55)	m5 (95)
1	m4 (55)	m2 (31)	m5 (98)	m9 (79)	m0 (12)	m7 (66)	m1 (42)	m8 (77)	m6 (77)	m3 (39)
2	m3 (34)	m2 (64)	m8 (62)	m1 (19)	m4 (92)	m9 (79)	m7 (43)	m6 (54)	m0 (83)	m5 (37)
3	m1 (87)	m3 (69)	m2 (87)	m7 (38)	m8 (24)	m9 (83)	m6 (41)	m0 (93)	m5 (77)	m4 (60)
4	m2 (98)	m0 (44)	m5 (25)	m6 (75)	m7 (43)	m1 (49)	m4 (96)	m9 (77)	m3 (17)	m8 (79)
5	m2 (35)	m3 (76)	m5 (28)	m9 (10)	m4 (61)	m6 (9)	m0 (95)	m8 (35)	m1 (7)	m7 (95)
6	m3 (16)	m2 (59)	m0 (46)	m1 (91)	m9 (43)	m8 (50)	m6 (52)	m5 (59)	m4 (28)	m7 (27)
7	m1 (45)	m0 (87)	m3 (41)	m4 (20)	m6 (54)	m9 (43)	m8 (14)	m5 (9)	m2 (39)	m7 (71)
8	m4 (33)	m2 (37)	m8 (66)	m5 (33)	m3 (26)	m7 (8)	m1 (28)	m6 (89)	m9 (42)	m0 (78)
9	m8 (69)	m9 (81)	m2 (94)	m4 (96)	m3 (27)	m0 (69)	m7 (45)	m6 (78)	m1 (74)	m5 (84)

Problem name: LA17

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m4 (18)	m7 (21)	m9 (41)	m2 (45)	m3 (38)	m8 (50)	m5 (84)	m6 (29)	m1 (23)	m0 (82)
1	m8 (57)	m5 (16)	m1 (52)	m7 (74)	m2 (38)	m3 (54)	m6 (62)	m9 (37)	m4 (54)	m0 (52)
2	m2 (30)	m4 (79)	m3 (68)	m1 (61)	m8 (11)	m6 (89)	m7 (89)	m0 (81)	m9 (81)	m5 (57)
3	m0 (91)	m8 (8)	m3 (33)	m7 (55)	m5 (20)	m2 (20)	m4 (32)	m6 (84)	m1 (66)	m9 (24)
4	m9 (40)	m0 (7)	m4 (19)	m8 (7)	m6 (83)	m2 (64)	m5 (56)	m3 (54)	m7 (8)	m1 (39)
5	m3 (91)	m2 (64)	m5 (40)	m0 (63)	m7 (98)	m4 (74)	m8 (61)	m1 (6)	m6 (42)	m9 (15)
6	m1 (80)	m7 (39)	m8 (24)	m3 (75)	m4 (75)	m5 (6)	m6 (44)	m0 (26)	m2 (87)	m9 (22)
7	m1 (15)	m7 (43)	m2 (20)	m0 (12)	m8 (26)	m6 (61)	m3 (79)	m9 (22)	m5 (8)	m4 (80)
8	m2 (62)	m3 (96)	m4 (22)	m9 (5)	m0 (63)	m6 (33)	m7 (10)	m8 (18)	m1 (36)	m5 (40)
9	m1 (96)	m0 (89)	m5 (64)	m3 (95)	m9 (23)	m7 (18)	m8 (15)	m2 (64)	m6 (38)	m4 (8)

Problem name: LA18

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m6 (54)	m0 (87)	m4 (48)	m3 (60)	m7 (39)	m8 (35)	m1 (72)	m5 (95)	m2 (66)	m9 (5)
1	m3 (20)	m9 (46)	m6 (34)	m5 (55)	m0 (97)	m8 (19)	m4 (59)	m2 (21)	m7 (37)	m1 (46)
2	m4 (45)	m1 (24)	m8 (28)	m0 (28)	m7 (83)	m6 (78)	m5 (23)	m3 (25)	m9 (5)	m2 (73)
3	m9 (12)	m1 (37)	m4 (38)	m3 (71)	m8 (33)	m2 (12)	m6 (55)	m0 (53)	m7 (87)	m5 (29)
4	m3 (83)	m2 (49)	m6 (23)	m9 (27)	m7 (65)	m0 (48)	m4 (90)	m5 (7)	m1 (40)	m8 (17)
5	m1 (66)	m4 (25)	m0 (62)	m2 (84)	m9 (13)	m6 (64)	m7 (46)	m8 (59)	m5 (19)	m3 (85)
6	m1 (73)	m3 (80)	m0 (41)	m2 (53)	m9 (47)	m7 (57)	m8 (74)	m4 (14)	m6 (67)	m5 (88)
7	m5 (64)	m3 (84)	m6 (46)	m1 (78)	m0 (84)	m7 (26)	m8 (28)	m9 (52)	m2 (41)	m4 (63)
8	m1 (11)	m0 (64)	m7 (67)	m4 (85)	m3 (10)	m5 (73)	m9 (38)	m8 (95)	m6 (97)	m2 (17)
9	m4 (60)	m8 (32)	m2 (95)	m3 (93)	m1 (65)	m6 (85)	m7 (43)	m9 (85)	m5 (46)	m0 (59)

Problem name: LA19

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m2 (44)	m3 (5)	m5 (58)	m4 (97)	m0 (9)	m7 (84)	m8 (77)	m9 (96)	m1 (58)	m6 (89)
1	m4 (15)	m7 (31)	m1 (87)	m8 (57)	m0 (77)	m3 (85)	m2 (81)	m5 (39)	m9 (73)	m6 (21)
2	m9 (82)	m6 (22)	m4 (10)	m3 (70)	m1 (49)	m0 (40)	m8 (34)	m2 (48)	m7 (80)	m5 (71)
3	m1 (91)	m2 (17)	m7 (62)	m5 (75)	m8 (47)	m4 (11)	m3 (7)	m6 (72)	m9 (35)	m0 (55)
4	m6 (71)	m1 (90)	m3 (75)	m0 (64)	m2 (94)	m8 (15)	m4 (12)	m7 (67)	m9 (20)	m5 (50)
5	m7 (70)	m5 (93)	m8 (77)	m2 (29)	m4 (58)	m6 (93)	m3 (68)	m1 (57)	m9 (7)	m0 (52)
6	m6 (87)	m1 (63)	m4 (26)	m5 (6)	m2 (82)	m3 (27)	m7 (56)	m8 (48)	m9 (36)	m0 (95)
7	m0 (36)	m5 (15)	m8 (41)	m9 (78)	m3 (76)	m6 (84)	m4 (30)	m7 (76)	m2 (36)	m1 (8)
8	m5 (88)	m2 (81)	m3 (13)	m6 (82)	m4 (54)	m7 (13)	m8 (29)	m9 (40)	m1 (78)	m0 (75)
9	m9 (88)	m4 (54)	m6 (64)	m7 (32)	m0 (52)	m2 (6)	m8 (54)	m5 (82)	m3 (6)	m1 (26)

Problem name: LA20

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m6 (9)	m1 (81)	m4 (55)	m2 (40)	m8 (32)	m3 (37)	m0 (6)	m5 (19)	m9 (81)	m7 (40)
1	m7 (21)	m2 (70)	m9 (65)	m4 (64)	m1 (46)	m5 (65)	m8 (25)	m0 (77)	m3 (55)	m6 (15)
2	m2 (85)	m5 (37)	m0 (40)	m3 (24)	m1 (44)	m6 (83)	m4 (89)	m8 (31)	m7 (84)	m9 (29)
3	m4 (80)	m6 (77)	m7 (56)	m0 (8)	m2 (30)	m5 (59)	m3 (38)	m1 (80)	m9 (41)	m8 (97)
4	m0 (91)	m6 (40)	m4 (88)	m1 (17)	m2 (71)	m3 (50)	m9 (59)	m8 (80)	m5 (56)	m7 (7)
5	m2 (8)	m6 (9)	m3 (58)	m5 (77)	m1 (29)	m8 (96)	m0 (45)	m9 (10)	m4 (54)	m7 (36)
6	m4 (70)	m3 (92)	m1 (98)	m5 (87)	m6 (99)	m7 (27)	m8 (86)	m9 (96)	m0 (28)	m2 (73)
7	m1 (95)	m7 (92)	m3 (85)	m4 (52)	m6 (81)	m9 (32)	m8 (39)	m0 (59)	m2 (41)	m5 (56)
8	m3 (60)	m8 (45)	m0 (88)	m2 (12)	m1 (7)	m5 (22)	m4 (93)	m9 (49)	m7 (69)	m6 (27)
9	m0 (21)	m2 (61)	m3 (68)	m5 (26)	m6 (82)	m9 (71)	m8 (44)	m4 (99)	m7 (33)	m1 (84)

Problem name: LA21

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m2 (34)	m3 (55)	m5 (95)	m9 (16)	m4 (21)	m6 (71)	m0 (53)	m8 (52)	m1 (21)	m7 (26)
1	m3 (39)	m2 (31)	m0 (12)	m1 (42)	m9 (79)	m8 (77)	m6 (77)	m5 (98)	m4 (55)	m7 (66)
2	m1 (19)	m0 (83)	m3 (34)	m4 (92)	m6 (54)	m9 (79)	m8 (62)	m5 (37)	m2 (64)	m7 (43)
3	m4 (60)	m2 (87)	m8 (24)	m5 (77)	m3 (69)	m7 (38)	m1 (87)	m6 (41)	m9 (83)	m0 (93)
4	m8 (79)	m9 (77)	m2 (98)	m4 (96)	m3 (17)	m0 (44)	m7 (43)	m6 (75)	m1 (49)	m5 (25)
5	m8 (35)	m7 (95)	m6 (9)	m9 (10)	m2 (35)	m1 (7)	m5 (28)	m4 (61)	m0 (95)	m3 (76)
6	m4 (28)	m5 (59)	m3 (16)	m9 (43)	m0 (46)	m8 (50)	m6 (52)	m7 (27)	m2 (59)	m1 (91)
7	m5 (9)	m4 (20)	m2 (39)	m6 (54)	m1 (45)	m7 (71)	m0 (87)	m3 (41)	m9 (43)	m8 (14)
8	m1 (28)	m5 (33)	m0 (78)	m3 (26)	m2 (37)	m7 (8)	m8 (66)	m6 (89)	m9 (42)	m4 (33)
9	m2 (94)	m5 (84)	m6 (78)	m9 (81)	m1 (74)	m3 (27)	m8 (69)	m0 (69)	m7 (45)	m4 (96)
10	m1 (31)	m4 (24)	m0 (20)	m2 (17)	m9 (25)	m8 (81)	m5 (76)	m3 (87)	m7 (32)	m6 (18)
11	m5 (28)	m9 (97)	m0 (58)	m4 (45)	m6 (76)	m3 (99)	m2 (23)	m1 (72)	m8 (90)	m7 (86)
12	m5 (27)	m9 (48)	m8 (27)	m7 (62)	m4 (98)	m6 (67)	m3 (48)	m0 (42)	m1 (46)	m2 (17)
13	m1 (12)	m8 (50)	m0 (80)	m2 (50)	m9 (80)	m3 (19)	m5 (28)	m6 (63)	m4 (94)	m7 (98)
14	m4 (61)	m3 (55)	m6 (37)	m5 (14)	m2 (50)	m8 (79)	m1 (41)	m9 (72)	m7 (18)	m0 (75)

Problem name: LA22

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m9 (66)	m5 (91)	m4 (87)	m2 (94)	m7 (21)	m3 (92)	m1 (7)	m0 (12)	m8 (11)	m6 (19)
1	m3 (13)	m2 (20)	m4 (7)	m1 (14)	m9 (66)	m0 (75)	m6 (77)	m5 (16)	m7 (95)	m8 (7)
2	m8 (77)	m7 (20)	m2 (34)	m0 (15)	m9 (88)	m5 (89)	m6 (53)	m3 (6)	m1 (45)	m4 (76)
3	m3 (27)	m2 (74)	m6 (88)	m4 (62)	m7 (52)	m8 (69)	m5 (9)	m9 (98)	m0 (52)	m1 (88)
4	m4 (88)	m6 (15)	m1 (52)	m2 (61)	m7 (54)	m0 (62)	m8 (59)	m5 (9)	m3 (90)	m9 (5)
5	m6 (71)	m0 (41)	m4 (38)	m3 (53)	m7 (91)	m8 (68)	m1 (50)	m5 (78)	m2 (23)	m9 (72)
6	m3 (95)	m9 (36)	m6 (66)	m5 (52)	m0 (45)	m8 (30)	m4 (23)	m2 (25)	m7 (17)	m1 (6)
7	m4 (65)	m1 (8)	m8 (85)	m0 (71)	m7 (65)	m6 (28)	m5 (88)	m3 (76)	m9 (27)	m2 (95)
8	m9 (37)	m1 (37)	m4 (28)	m3 (51)	m8 (86)	m2 (9)	m6 (55)	m0 (73)	m7 (51)	m5 (90)
9	m3 (39)	m2 (15)	m6 (83)	m9 (44)	m7 (53)	m0 (16)	m4 (46)	m5 (24)	m1 (25)	m8 (82)
10	m1 (72)	m4 (48)	m0 (87)	m2 (66)	m9 (5)	m6 (54)	m7 (39)	m8 (35)	m5 (95)	m3 (60)
11	m1 (46)	m3 (20)	m0 (97)	m2 (21)	m9 (46)	m7 (37)	m8 (19)	m4 (59)	m6 (34)	m5 (55)
12	m5 (23)	m3 (25)	m6 (78)	m1 (24)	m0 (28)	m7 (83)	m8 (28)	m9 (5)	m2 (73)	m4 (45)
13	m1 (37)	m0 (53)	m7 (87)	m4 (38)	m3 (71)	m5 (29)	m9 (12)	m8 (33)	m6 (55)	m2 (12)
14	m4 (90)	m8 (17)	m2 (49)	m3 (83)	m1 (40)	m6 (23)	m7 (65)	m9 (27)	m5 (7)	m0 (48)

Problem name: LA23

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m7 (84)	m5 (58)	m8 (77)	m2 (44)	m4 (97)	m6 (89)	m3 (5)	m1 (58)	m9 (96)	m0 (9)
1	m6 (21)	m1 (87)	m4 (15)	m5 (39)	m2 (81)	m3 (85)	m7 (31)	m8 (57)	m9 (73)	m0 (77)
2	m0 (40)	m5 (71)	m8 (34)	m9 (82)	m3 (70)	m6 (22)	m4 (10)	m7 (80)	m2 (48)	m1 (49)
3	m5 (75)	m2 (17)	m3 (7)	m6 (72)	m4 (11)	m7 (62)	m8 (47)	m9 (35)	m1 (91)	m0 (55)
4	m9 (20)	m4 (12)	m6 (71)	m7 (67)	m0 (64)	m2 (94)	m8 (15)	m5 (50)	m3 (75)	m1 (90)
5	m6 (93)	m5 (93)	m1 (57)	m7 (70)	m8 (77)	m4 (58)	m0 (52)	m2 (29)	m9 (7)	m3 (68)
6	m7 (56)	m0 (95)	m8 (48)	m4 (26)	m2 (82)	m1 (63)	m9 (36)	m3 (27)	m6 (87)	m5 (6)
7	m3 (76)	m5 (15)	m9 (78)	m1 (8)	m8 (41)	m2 (36)	m4 (30)	m6 (84)	m0 (36)	m7 (76)
8	m0 (75)	m7 (13)	m2 (81)	m8 (29)	m4 (54)	m6 (82)	m5 (88)	m1 (78)	m9 (40)	m3 (13)
9	m2 (6)	m1 (26)	m7 (32)	m6 (64)	m4 (54)	m0 (52)	m5 (82)	m3 (6)	m9 (88)	m8 (54)
10	m8 (62)	m2 (67)	m5 (32)	m0 (62)	m7 (69)	m3 (61)	m1 (35)	m4 (72)	m9 (5)	m6 (93)
11	m2 (78)	m9 (90)	m0 (85)	m1 (72)	m8 (64)	m6 (63)	m3 (11)	m7 (82)	m5 (88)	m4 (7)
12	m4 (28)	m9 (11)	m7 (50)	m6 (88)	m0 (44)	m5 (31)	m2 (27)	m1 (66)	m8 (49)	m3 (35)
13	m2 (14)	m5 (39)	m6 (56)	m4 (62)	m3 (97)	m9 (66)	m7 (69)	m1 (7)	m8 (47)	m0 (76)
14	m1 (18)	m8 (93)	m7 (58)	m6 (47)	m3 (69)	m9 (57)	m2 (41)	m5 (53)	m4 (79)	m0 (64)

Problem name: LA24

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m7 (8)	m9 (75)	m0 (72)	m6 (74)	m4 (30)	m8 (43)	m2 (38)	m5 (98)	m1 (26)	m3 (19)
1	m6 (19)	m8 (73)	m3 (43)	m0 (23)	m1 (85)	m4 (39)	m5 (13)	m9 (26)	m2 (67)	m7 (9)
2	m1 (50)	m3 (93)	m5 (80)	m4 (7)	m0 (55)	m2 (61)	m6 (57)	m8 (72)	m9 (42)	m7 (46)
3	m1 (68)	m7 (43)	m4 (99)	m6 (60)	m5 (68)	m0 (91)	m8 (11)	m3 (96)	m9 (11)	m2 (72)
4	m7 (84)	m2 (34)	m8 (40)	m5 (7)	m1 (70)	m6 (74)	m3 (12)	m0 (43)	m9 (69)	m4 (30)
5	m8 (60)	m0 (49)	m4 (59)	m5 (72)	m9 (63)	m1 (69)	m7 (99)	m6 (45)	m3 (27)	m2 (9)
6	m6 (71)	m2 (91)	m8 (65)	m1 (90)	m9 (98)	m4 (8)	m7 (50)	m0 (75)	m5 (37)	m3 (17)
7	m8 (62)	m7 (90)	m5 (98)	m3 (31)	m2 (91)	m4 (38)	m9 (72)	m1 (9)	m0 (72)	m6 (49)
8	m4 (35)	m0 (39)	m9 (74)	m5 (25)	m7 (47)	m3 (52)	m2 (63)	m8 (21)	m6 (35)	m1 (80)
9	m9 (58)	m0 (5)	m3 (50)	m8 (52)	m1 (88)	m6 (20)	m2 (68)	m5 (24)	m4 (53)	m7 (57)
10	m7 (99)	m3 (91)	m4 (33)	m5 (19)	m2 (18)	m6 (38)	m0 (24)	m9 (35)	m1 (49)	m8 (9)
11	m0 (68)	m3 (60)	m2 (77)	m7 (10)	m8 (60)	m5 (15)	m9 (72)	m1 (18)	m6 (90)	m4 (18)
12	m9 (79)	m1 (60)	m3 (56)	m6 (91)	m2 (40)	m8 (86)	m7 (72)	m0 (80)	m5 (89)	m4 (51)
13	m4 (10)	m2 (92)	m5 (23)	m6 (46)	m8 (40)	m7 (72)	m3 (6)	m1 (23)	m0 (95)	m9 (34)
14	m2 (24)	m5 (29)	m9 (49)	m8 (55)	m0 (47)	m6 (77)	m3 (77)	m7 (8)	m1 (28)	m4 (48)

Problem name: LA25

Number of Jobs: 15

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m8 (14)	m4 (75)	m3 (12)	m2 (38)	m0 (76)	m5 (97)	m9 (12)	m1 (29)	m7 (44)	m6 (66)
1	m5 (38)	m3 (82)	m2 (85)	m4 (58)	m6 (87)	m9 (89)	m0 (43)	m1 (80)	m7 (69)	m8 (92)
2	m9 (5)	m1 (84)	m0 (43)	m6 (48)	m4 (8)	m7 (7)	m3 (41)	m5 (61)	m8 (66)	m2 (14)
3	m2 (42)	m1 (8)	m0 (96)	m5 (19)	m4 (59)	m7 (97)	m9 (73)	m8 (43)	m3 (74)	m6 (41)
4	m6 (55)	m2 (70)	m3 (75)	m8 (42)	m4 (37)	m7 (23)	m1 (48)	m5 (5)	m9 (38)	m0 (7)
5	m8 (9)	m2 (72)	m7 (31)	m0 (79)	m5 (73)	m3 (95)	m4 (25)	m6 (43)	m9 (60)	m1 (56)
6	m0 (97)	m2 (64)	m3 (78)	m5 (21)	m4 (94)	m9 (31)	m8 (53)	m6 (16)	m7 (86)	m1 (7)
7	m3 (86)	m7 (85)	m9 (63)	m0 (61)	m2 (65)	m4 (30)	m5 (32)	m1 (33)	m8 (44)	m6 (59)
8	m2 (44)	m3 (16)	m4 (11)	m6 (45)	m1 (30)	m9 (84)	m8 (93)	m0 (60)	m5 (61)	m7 (90)
9	m7 (36)	m8 (31)	m4 (47)	m6 (52)	m0 (32)	m5 (11)	m2 (28)	m9 (35)	m3 (20)	m1 (49)
10	m8 (20)	m6 (49)	m7 (74)	m4 (10)	m5 (17)	m3 (34)	m0 (85)	m2 (77)	m9 (68)	m1 (84)
11	m1 (85)	m5 (7)	m8 (71)	m6 (59)	m4 (76)	m0 (17)	m3 (29)	m2 (17)	m7 (48)	m9 (13)
12	m2 (15)	m6 (87)	m7 (11)	m1 (39)	m4 (39)	m8 (43)	m0 (19)	m3 (32)	m9 (16)	m5 (64)
13	m6 (32)	m2 (92)	m5 (33)	m8 (82)	m1 (83)	m7 (57)	m9 (99)	m4 (91)	m3 (99)	m0 (8)
14	m4 (88)	m7 (7)	m8 (27)	m1 (38)	m3 (91)	m2 (69)	m6 (21)	m9 (62)	m5 (39)	m0 (48)

Problem name: LA26

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m8 (52)	m7 (26)	m6 (71)	m9 (16)	m2 (34)	m1 (21)	m5 (95)	m4 (21)	m0 (53)	m3 (55)
1	m4 (55)	m5 (98)	m3 (39)	m9 (79)	m0 (12)	m8 (77)	m6 (77)	m7 (66)	m2 (31)	m1 (42)
2	m5 (37)	m4 (92)	m2 (64)	m6 (54)	m1 (19)	m7 (43)	m0 (83)	m3 (34)	m9 (79)	m8 (62)
3	m1 (87)	m5 (77)	m0 (93)	m3 (69)	m2 (87)	m7 (38)	m8 (24)	m6 (41)	m9 (83)	m4 (60)
4	m2 (98)	m5 (25)	m6 (75)	m9 (77)	m1 (49)	m3 (17)	m8 (79)	m0 (44)	m7 (43)	m4 (96)
5	m1 (7)	m4 (61)	m0 (95)	m2 (35)	m9 (10)	m8 (35)	m5 (28)	m3 (76)	m7 (95)	m6 (9)
6	m5 (59)	m9 (43)	m0 (46)	m4 (28)	m6 (52)	m3 (16)	m2 (59)	m1 (91)	m8 (50)	m7 (27)
7	m5 (9)	m9 (43)	m8 (14)	m7 (71)	m4 (20)	m6 (54)	m3 (41)	m0 (87)	m1 (45)	m2 (39)
8	m1 (28)	m8 (66)	m0 (78)	m2 (37)	m9 (42)	m3 (26)	m5 (33)	m6 (89)	m4 (33)	m7 (8)
9	m4 (96)	m3 (27)	m6 (78)	m5 (84)	m2 (94)	m8 (69)	m1 (74)	m9 (81)	m7 (45)	m0 (69)
10	m4 (24)	m7 (32)	m9 (25)	m2 (17)	m3 (87)	m8 (81)	m5 (76)	m6 (18)	m1 (31)	m0 (20)
11	m8 (90)	m5 (28)	m1 (72)	m7 (86)	m2 (23)	m3 (99)	m6 (76)	m9 (97)	m4 (45)	m0 (58)
12	m2 (17)	m4 (98)	m3 (48)	m1 (46)	m8 (27)	m6 (67)	m7 (62)	m0 (42)	m9 (48)	m5 (27)
13	m0 (80)	m8 (50)	m3 (19)	m7 (98)	m5 (28)	m2 (50)	m4 (94)	m6 (63)	m1 (12)	m9 (80)
14	m9 (72)	m0 (75)	m4 (61)	m8 (79)	m6 (37)	m2 (50)	m5 (14)	m3 (55)	m7 (18)	m1 (41)
15	m3 (96)	m2 (14)	m5 (57)	m0 (47)	m7 (65)	m4 (75)	m8 (79)	m1 (71)	m6 (60)	m9 (22)
16	m1 (31)	m7 (47)	m8 (58)	m3 (32)	m4 (44)	m5 (58)	m6 (34)	m0 (33)	m2 (69)	m9 (51)
17	m1 (44)	m7 (40)	m2 (17)	m0 (62)	m8 (66)	m6 (15)	m3 (29)	m9 (38)	m5 (8)	m4 (97)
18	m2 (58)	m3 (50)	m4 (63)	m9 (87)	m0 (57)	m6 (21)	m7 (57)	m8 (32)	m1 (39)	m5 (20)
19	m1 (85)	m0 (84)	m5 (56)	m3 (61)	m9 (15)	m7 (70)	m8 (30)	m2 (90)	m6 (67)	m4 (20)

Problem name: LA27

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m3 (60)	m4 (48)	m5 (95)	m0 (87)	m1 (72)	m9 (5)	m8 (35)	m7 (39)	m6 (54)	m2 (66)
1	m7 (37)	m6 (34)	m0 (97)	m5 (55)	m2 (21)	m3 (20)	m4 (59)	m9 (46)	m8 (19)	m1 (46)
2	m4 (45)	m2 (73)	m1 (24)	m8 (28)	m0 (28)	m3 (25)	m5 (23)	m7 (83)	m9 (5)	m6 (78)
3	m0 (53)	m2 (12)	m9 (12)	m1 (37)	m8 (33)	m3 (71)	m6 (55)	m5 (29)	m7 (87)	m4 (38)
4	m4 (90)	m2 (49)	m9 (27)	m7 (65)	m5 (7)	m6 (23)	m0 (48)	m3 (83)	m8 (17)	m1 (40)
5	m3 (85)	m4 (25)	m2 (84)	m6 (64)	m9 (13)	m1 (66)	m7 (46)	m8 (59)	m0 (62)	m5 (19)
6	m5 (88)	m6 (67)	m4 (14)	m0 (41)	m1 (73)	m7 (57)	m2 (53)	m3 (80)	m9 (47)	m8 (74)
7	m1 (78)	m5 (64)	m4 (63)	m6 (46)	m3 (84)	m0 (84)	m8 (28)	m9 (52)	m7 (26)	m2 (41)
8	m1 (11)	m0 (64)	m6 (97)	m9 (38)	m2 (17)	m4 (85)	m5 (73)	m3 (10)	m8 (95)	m7 (67)
9	m3 (93)	m2 (95)	m7 (43)	m1 (65)	m8 (32)	m0 (59)	m6 (85)	m5 (46)	m9 (85)	m4 (60)
10	m2 (61)	m3 (41)	m5 (49)	m4 (23)	m0 (66)	m7 (49)	m8 (70)	m9 (99)	m1 (90)	m6 (17)
11	m4 (13)	m7 (7)	m1 (98)	m8 (57)	m0 (73)	m3 (73)	m2 (68)	m5 (40)	m9 (98)	m6 (9)
12	m9 (86)	m6 (76)	m4 (14)	m3 (41)	m1 (85)	m0 (37)	m8 (19)	m2 (17)	m7 (54)	m5 (79)
13	m1 (40)	m2 (53)	m7 (97)	m5 (87)	m8 (96)	m4 (84)	m3 (16)	m6 (66)	m9 (52)	m0 (95)
14	m6 (33)	m1 (33)	m3 (87)	m0 (18)	m2 (55)	m8 (13)	m4 (77)	m7 (60)	m9 (42)	m5 (74)
15	m7 (92)	m5 (91)	m8 (79)	m2 (54)	m4 (69)	m6 (79)	m3 (33)	m1 (61)	m9 (39)	m0 (16)
16	m6 (82)	m1 (41)	m4 (28)	m5 (64)	m2 (78)	m3 (76)	m7 (6)	m8 (49)	m9 (47)	m0 (58)
17	m0 (52)	m5 (42)	m8 (24)	m9 (91)	m3 (47)	m6 (88)	m4 (91)	m7 (52)	m2 (28)	m1 (35)
18	m5 (82)	m2 (76)	m3 (86)	m6 (93)	m4 (84)	m7 (38)	m8 (95)	m9 (37)	m1 (21)	m0 (23)
19	m9 (77)	m4 (8)	m6 (42)	m7 (64)	m0 (70)	m2 (45)	m8 (45)	m5 (28)	m3 (67)	m1 (86)

Problem name: LA28

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m8 (32)	m1 (81)	m4 (55)	m7 (40)	m0 (6)	m5 (19)	m9 (81)	m3 (37)	m2 (40)	m6 (9)
1	m2 (70)	m3 (55)	m7 (21)	m4 (64)	m1 (46)	m8 (25)	m9 (65)	m0 (77)	m5 (65)	m6 (15)
2	m7 (84)	m4 (89)	m3 (24)	m1 (44)	m2 (85)	m8 (31)	m9 (29)	m6 (83)	m5 (37)	m0 (40)
3	m4 (80)	m5 (59)	m0 (8)	m2 (30)	m6 (77)	m3 (38)	m1 (80)	m7 (56)	m9 (41)	m8 (97)
4	m6 (40)	m2 (71)	m0 (91)	m7 (7)	m9 (59)	m8 (80)	m3 (50)	m5 (56)	m1 (17)	m4 (88)
5	m7 (36)	m9 (10)	m0 (45)	m6 (9)	m4 (54)	m8 (96)	m2 (8)	m5 (77)	m1 (29)	m3 (58)
6	m6 (99)	m8 (86)	m3 (92)	m0 (28)	m1 (98)	m4 (70)	m5 (87)	m9 (96)	m2 (73)	m7 (27)
7	m1 (95)	m3 (85)	m5 (56)	m4 (52)	m0 (59)	m2 (41)	m6 (81)	m8 (39)	m9 (32)	m7 (92)
8	m1 (7)	m7 (69)	m4 (93)	m6 (27)	m5 (22)	m0 (88)	m8 (45)	m3 (60)	m9 (49)	m2 (12)
9	m7 (33)	m2 (61)	m8 (44)	m5 (26)	m1 (84)	m6 (82)	m3 (68)	m0 (21)	m9 (71)	m4 (99)
10	m8 (43)	m0 (72)	m4 (30)	m5 (98)	m9 (75)	m1 (26)	m7 (8)	m6 (74)	m3 (19)	m2 (38)
11	m6 (19)	m2 (67)	m8 (73)	m1 (85)	m9 (26)	m4 (39)	m7 (9)	m0 (23)	m5 (13)	m3 (43)
12	m8 (72)	m7 (46)	m5 (80)	m3 (93)	m2 (61)	m4 (7)	m9 (42)	m1 (50)	m0 (55)	m6 (57)
13	m4 (99)	m0 (91)	m9 (11)	m5 (68)	m7 (43)	m3 (96)	m2 (72)	m8 (11)	m6 (60)	m1 (68)
14	m9 (69)	m0 (43)	m3 (12)	m8 (40)	m1 (70)	m6 (74)	m2 (34)	m5 (7)	m4 (30)	m7 (84)
15	m7 (99)	m3 (27)	m4 (59)	m5 (72)	m2 (9)	m6 (45)	m0 (49)	m9 (63)	m1 (69)	m8 (60)
16	m0 (75)	m3 (17)	m2 (91)	m7 (50)	m8 (65)	m5 (37)	m9 (98)	m1 (90)	m6 (71)	m4 (8)
17	m9 (72)	m1 (9)	m3 (31)	m6 (49)	m2 (91)	m8 (62)	m7 (90)	m0 (72)	m5 (98)	m4 (38)
18	m4 (35)	m2 (63)	m5 (25)	m6 (35)	m8 (21)	m7 (47)	m3 (52)	m1 (80)	m0 (39)	m9 (74)
19	m2 (68)	m5 (24)	m9 (58)	m8 (52)	m0 (5)	m6 (20)	m3 (50)	m7 (57)	m1 (88)	m4 (53)

Problem name: LA29

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m8 (14)	m2 (38)	m7 (44)	m0 (76)	m5 (97)	m3 (12)	m4 (75)	m6 (66)	m9 (12)	m1 (29)
1	m0 (43)	m2 (85)	m3 (82)	m5 (38)	m4 (58)	m9 (89)	m8 (92)	m6 (87)	m7 (69)	m1 (80)
2	m3 (41)	m7 (7)	m9 (5)	m0 (43)	m2 (14)	m4 (8)	m5 (61)	m1 (84)	m8 (66)	m6 (48)
3	m2 (42)	m3 (74)	m4 (59)	m6 (41)	m1 (8)	m9 (73)	m8 (43)	m0 (96)	m5 (19)	m7 (97)
4	m7 (23)	m8 (42)	m4 (37)	m6 (55)	m0 (7)	m5 (5)	m2 (70)	m9 (38)	m3 (75)	m1 (48)
5	m8 (9)	m6 (43)	m7 (31)	m4 (25)	m5 (73)	m3 (95)	m0 (79)	m2 (72)	m9 (60)	m1 (56)
6	m1 (7)	m5 (21)	m8 (53)	m6 (16)	m4 (94)	m0 (97)	m3 (78)	m2 (64)	m7 (86)	m9 (31)
7	m2 (65)	m6 (59)	m7 (85)	m1 (33)	m4 (30)	m8 (44)	m0 (61)	m3 (86)	m9 (63)	m5 (32)
8	m6 (45)	m2 (44)	m5 (61)	m8 (93)	m1 (30)	m7 (90)	m9 (84)	m4 (11)	m3 (16)	m0 (60)
9	m4 (47)	m7 (36)	m8 (31)	m1 (49)	m3 (20)	m2 (28)	m6 (52)	m9 (35)	m5 (11)	m0 (32)
10	m2 (77)	m4 (10)	m9 (68)	m5 (17)	m0 (85)	m1 (84)	m8 (20)	m6 (49)	m7 (74)	m3 (34)
11	m0 (17)	m5 (7)	m1 (85)	m3 (29)	m2 (17)	m4 (76)	m6 (59)	m8 (71)	m9 (13)	m7 (48)
12	m6 (87)	m4 (39)	m8 (43)	m7 (11)	m2 (15)	m3 (32)	m5 (64)	m0 (19)	m1 (39)	m9 (16)
13	m5 (33)	m3 (99)	m6 (32)	m4 (91)	m8 (82)	m2 (92)	m9 (99)	m7 (57)	m1 (83)	m0 (8)
14	m3 (91)	m5 (39)	m2 (69)	m8 (27)	m7 (7)	m6 (21)	m1 (38)	m9 (62)	m4 (88)	m0 (48)
15	m2 (67)	m7 (80)	m3 (24)	m0 (88)	m4 (18)	m1 (44)	m8 (45)	m9 (64)	m5 (80)	m6 (38)
16	m9 (59)	m3 (72)	m6 (47)	m4 (40)	m7 (21)	m5 (43)	m0 (51)	m8 (52)	m1 (24)	m2 (15)
17	m3 (70)	m2 (31)	m6 (20)	m8 (76)	m1 (40)	m7 (43)	m0 (32)	m5 (88)	m9 (5)	m4 (77)
18	m4 (47)	m5 (64)	m9 (85)	m3 (49)	m7 (58)	m1 (26)	m0 (32)	m8 (80)	m2 (14)	m6 (94)
19	m5 (59)	m2 (96)	m0 (5)	m7 (79)	m8 (34)	m4 (75)	m3 (26)	m6 (9)	m9 (23)	m1 (11)

Problem name: LA30

Number of Jobs: 20

Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m6 (32)	m3 (16)	m1 (33)	m8 (12)	m7 (70)	m4 (10)	m9 (75)	m0 (82)	m5 (88)	m2 (20)
1	m8 (39)	m4 (81)	m3 (91)	m5 (56)	m9 (69)	m1 (45)	m6 (59)	m0 (86)	m2 (36)	m7 (68)
2	m3 (84)	m2 (57)	m7 (41)	m5 (73)	m4 (81)	m0 (88)	m8 (38)	m9 (17)	m6 (83)	m1 (5)
3	m4 (20)	m5 (6)	m2 (15)	m8 (19)	m1 (30)	m0 (94)	m6 (45)	m7 (17)	m3 (18)	m9 (88)
4	m9 (24)	m6 (49)	m5 (16)	m4 (11)	m3 (60)	m7 (5)	m8 (63)	m1 (25)	m2 (15)	m0 (45)
5	m1 (86)	m8 (50)	m2 (77)	m6 (54)	m9 (48)	m0 (93)	m3 (32)	m7 (92)	m5 (45)	m4 (71)
6	m5 (86)	m6 (90)	m3 (78)	m9 (88)	m2 (57)	m0 (32)	m7 (57)	m8 (86)	m4 (71)	m1 (39)
7	m2 (59)	m3 (18)	m9 (31)	m4 (41)	m7 (20)	m5 (83)	m8 (65)	m0 (54)	m6 (94)	m1 (69)
8	m3 (47)	m4 (79)	m6 (76)	m0 (59)	m1 (72)	m2 (8)	m9 (30)	m5 (73)	m7 (57)	m8 (84)
9	m0 (59)	m2 (89)	m4 (10)	m7 (45)	m3 (8)	m5 (54)	m6 (88)	m8 (20)	m9 (7)	m1 (62)
10	m5 (63)	m6 (9)	m4 (77)	m3 (37)	m2 (5)	m8 (13)	m9 (79)	m1 (24)	m7 (10)	m0 (82)
11	m0 (74)	m1 (32)	m2 (61)	m7 (53)	m4 (92)	m9 (20)	m8 (10)	m3 (5)	m6 (45)	m5 (23)
12	m2 (85)	m9 (51)	m0 (61)	m5 (99)	m4 (37)	m6 (94)	m1 (98)	m8 (65)	m3 (33)	m7 (75)
13	m0 (51)	m3 (24)	m5 (8)	m6 (30)	m7 (12)	m8 (23)	m2 (7)	m4 (17)	m9 (35)	m1 (81)
14	m1 (71)	m5 (42)	m8 (68)	m2 (31)	m6 (29)	m3 (63)	m4 (65)	m9 (70)	m7 (27)	m0 (93)
15	m1 (28)	m5 (38)	m4 (51)	m7 (70)	m2 (33)	m8 (78)	m9 (45)	m3 (90)	m6 (54)	m0 (72)
16	m0 (18)	m2 (90)	m4 (25)	m6 (92)	m8 (85)	m5 (35)	m7 (29)	m1 (81)	m9 (80)	m3 (59)
17	m5 (67)	m2 (96)	m1 (38)	m4 (86)	m0 (97)	m3 (94)	m7 (86)	m6 (35)	m9 (82)	m8 (45)
18	m2 (92)	m8 (51)	m4 (59)	m6 (52)	m5 (8)	m9 (70)	m1 (75)	m3 (54)	m7 (60)	m0 (33)
19	m3 (98)	m7 (80)	m5 (78)	m0 (82)	m2 (7)	m9 (89)	m1 (69)	m4 (51)	m8 (79)	m6 (62)

Problem name: LA31
Number of Jobs: 30
Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m4 (21)	m7 (26)	m9 (16)	m2 (34)	m3 (55)	m8 (52)	m5 (95)	m6 (71)	m1 (21)	m0 (53)
1	m8 (77)	m5 (98)	m1 (42)	m7 (66)	m2 (31)	m3 (39)	m6 (77)	m9 (79)	m4 (55)	m0 (12)
2	m2 (64)	m4 (92)	m3 (34)	m1 (19)	m8 (62)	m6 (54)	m7 (43)	m0 (83)	m9 (79)	m5 (37)
3	m0 (93)	m8 (24)	m3 (69)	m7 (38)	m5 (77)	m2 (87)	m4 (60)	m6 (41)	m1 (87)	m9 (83)
4	m9 (77)	m0 (44)	m4 (96)	m8 (79)	m6 (75)	m2 (98)	m5 (25)	m3 (17)	m7 (43)	m1 (49)
5	m3 (76)	m2 (35)	m5 (28)	m0 (95)	m7 (95)	m4 (61)	m8 (35)	m1 (7)	m6 (9)	m9 (10)
6	m1 (91)	m7 (27)	m8 (50)	m3 (16)	m4 (28)	m5 (59)	m6 (52)	m0 (46)	m2 (59)	m9 (43)
7	m1 (45)	m7 (71)	m2 (39)	m0 (87)	m8 (14)	m6 (54)	m3 (41)	m9 (43)	m5 (9)	m4 (20)
8	m2 (37)	m3 (26)	m4 (33)	m9 (42)	m0 (78)	m6 (89)	m7 (8)	m8 (66)	m1 (28)	m5 (33)
9	m1 (74)	m0 (69)	m5 (84)	m3 (27)	m9 (81)	m7 (45)	m8 (69)	m2 (94)	m6 (78)	m4 (96)
10	m5 (76)	m7 (32)	m6 (18)	m0 (20)	m3 (87)	m2 (17)	m9 (25)	m4 (24)	m1 (31)	m8 (81)
11	m9 (97)	m8 (90)	m5 (28)	m7 (86)	m0 (58)	m1 (72)	m2 (23)	m6 (76)	m3 (99)	m4 (45)
12	m9 (48)	m5 (27)	m6 (67)	m7 (62)	m4 (98)	m0 (42)	m1 (46)	m8 (27)	m3 (48)	m2 (17)
13	m9 (80)	m3 (19)	m5 (28)	m1 (12)	m4 (94)	m6 (63)	m7 (98)	m8 (50)	m0 (80)	m2 (50)
14	m2 (50)	m1 (41)	m4 (61)	m8 (79)	m5 (14)	m9 (72)	m7 (18)	m3 (55)	m6 (37)	m0 (75)
15	m9 (22)	m5 (57)	m4 (75)	m2 (14)	m7 (65)	m3 (96)	m1 (71)	m0 (47)	m8 (79)	m6 (60)
16	m3 (32)	m2 (69)	m4 (44)	m1 (31)	m9 (51)	m0 (33)	m6 (34)	m5 (58)	m7 (47)	m8 (58)
17	m8 (66)	m7 (40)	m2 (17)	m0 (62)	m9 (38)	m5 (8)	m6 (15)	m3 (29)	m1 (44)	m4 (97)
18	m3 (50)	m2 (58)	m6 (21)	m4 (63)	m7 (57)	m8 (32)	m5 (20)	m9 (87)	m0 (57)	m1 (39)
19	m4 (20)	m6 (67)	m1 (85)	m2 (90)	m7 (70)	m0 (84)	m8 (30)	m5 (56)	m3 (61)	m9 (15)
20	m6 (29)	m0 (82)	m4 (18)	m3 (38)	m7 (21)	m8 (50)	m1 (23)	m5 (84)	m2 (45)	m9 (41)
21	m3 (54)	m9 (37)	m6 (62)	m5 (16)	m0 (52)	m8 (57)	m4 (54)	m2 (38)	m7 (74)	m1 (52)
22	m4 (79)	m1 (61)	m8 (11)	m0 (81)	m7 (89)	m6 (89)	m5 (57)	m3 (68)	m9 (81)	m2 (30)
23	m9 (24)	m1 (66)	m4 (32)	m3 (33)	m8 (8)	m2 (20)	m6 (84)	m0 (91)	m7 (55)	m5 (20)
24	m3 (54)	m2 (64)	m6 (83)	m9 (40)	m7 (8)	m0 (7)	m4 (19)	m5 (56)	m1 (39)	m8 (7)
25	m1 (6)	m4 (74)	m0 (63)	m2 (64)	m9 (15)	m6 (42)	m7 (98)	m8 (61)	m5 (40)	m3 (91)
26	m1 (80)	m3 (75)	m0 (26)	m2 (87)	m9 (22)	m7 (39)	m8 (24)	m4 (75)	m6 (44)	m5 (6)
27	m5 (8)	m3 (79)	m6 (61)	m1 (15)	m0 (12)	m7 (43)	m8 (26)	m9 (22)	m2 (20)	m4 (80)
28	m1 (36)	m0 (63)	m7 (10)	m4 (22)	m3 (96)	m5 (40)	m9 (5)	m8 (18)	m6 (33)	m2 (62)
29	m4 (8)	m8 (15)	m2 (64)	m3 (95)	m1 (96)	m6 (38)	m7 (18)	m9 (23)	m5 (64)	m0 (89)

Problem name: LA32
Number of Jobs: 30
Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m6 (89)	m1 (58)	m4 (97)	m2 (44)	m8 (77)	m3 (5)	m0 (9)	m5 (58)	m9 (96)	m7 (84)
1	m7 (31)	m2 (81)	m9 (73)	m4 (15)	m1 (87)	m5 (39)	m8 (57)	m0 (77)	m3 (85)	m6 (21)
2	m2 (48)	m5 (71)	m0 (40)	m3 (70)	m1 (49)	m6 (22)	m4 (10)	m8 (34)	m7 (80)	m9 (82)
3	m4 (11)	m6 (72)	m7 (62)	m0 (55)	m2 (17)	m5 (75)	m3 (7)	m1 (91)	m9 (35)	m8 (47)
4	m0 (64)	m6 (71)	m4 (12)	m1 (90)	m2 (94)	m3 (75)	m9 (20)	m8 (15)	m5 (50)	m7 (67)
5	m2 (29)	m6 (93)	m3 (68)	m5 (93)	m1 (57)	m8 (77)	m0 (52)	m9 (7)	m4 (58)	m7 (70)
6	m4 (26)	m3 (27)	m1 (63)	m5 (6)	m6 (87)	m7 (56)	m8 (48)	m9 (36)	m0 (95)	m2 (82)
7	m1 (8)	m7 (76)	m3 (76)	m4 (30)	m6 (84)	m9 (78)	m8 (41)	m0 (36)	m2 (36)	m5 (15)
8	m3 (13)	m8 (29)	m0 (75)	m2 (81)	m1 (78)	m5 (88)	m4 (54)	m9 (40)	m7 (13)	m6 (82)
9	m0 (52)	m2 (6)	m3 (6)	m5 (82)	m6 (64)	m9 (88)	m8 (54)	m4 (54)	m7 (32)	m1 (26)
10	m8 (62)	m1 (35)	m4 (72)	m7 (69)	m0 (62)	m5 (32)	m9 (5)	m3 (61)	m2 (67)	m6 (93)
11	m2 (78)	m3 (11)	m7 (82)	m4 (7)	m1 (72)	m8 (64)	m9 (90)	m0 (85)	m5 (88)	m6 (63)
12	m7 (50)	m4 (28)	m3 (35)	m1 (66)	m2 (27)	m8 (49)	m9 (11)	m6 (88)	m5 (31)	m0 (44)
13	m4 (62)	m5 (39)	m0 (76)	m2 (14)	m6 (56)	m3 (97)	m1 (7)	m7 (69)	m9 (66)	m8 (47)
14	m6 (47)	m2 (41)	m0 (64)	m7 (58)	m9 (57)	m8 (93)	m3 (69)	m5 (53)	m1 (18)	m4 (79)
15	m7 (76)	m9 (81)	m0 (76)	m6 (61)	m4 (77)	m8 (26)	m2 (74)	m5 (22)	m1 (58)	m3 (78)
16	m6 (30)	m8 (72)	m3 (43)	m0 (65)	m1 (16)	m4 (92)	m5 (95)	m9 (29)	m2 (99)	m7 (64)
17	m1 (35)	m3 (74)	m5 (16)	m4 (85)	m0 (7)	m2 (81)	m6 (86)	m8 (61)	m9 (35)	m7 (34)
18	m1 (97)	m7 (43)	m4 (72)	m6 (88)	m5 (17)	m0 (43)	m8 (94)	m3 (64)	m9 (22)	m2 (42)
19	m7 (99)	m2 (84)	m8 (99)	m5 (98)	m1 (20)	m6 (31)	m3 (74)	m0 (92)	m9 (23)	m4 (89)
20	m8 (32)	m0 (6)	m4 (55)	m5 (19)	m9 (81)	m1 (81)	m7 (40)	m6 (9)	m3 (37)	m2 (40)
21	m6 (15)	m2 (70)	m8 (25)	m1 (46)	m9 (65)	m4 (64)	m7 (21)	m0 (77)	m5 (65)	m3 (55)
22	m8 (31)	m7 (84)	m5 (37)	m3 (24)	m2 (85)	m4 (89)	m9 (29)	m1 (44)	m0 (40)	m6 (83)
23	m4 (80)	m0 (8)	m9 (41)	m5 (59)	m7 (56)	m3 (38)	m2 (30)	m8 (97)	m6 (77)	m1 (80)
24	m9 (59)	m0 (91)	m3 (50)	m8 (80)	m1 (17)	m6 (40)	m2 (71)	m5 (56)	m4 (88)	m7 (7)
25	m7 (36)	m3 (58)	m4 (54)	m5 (77)	m2 (8)	m6 (9)	m0 (45)	m9 (10)	m1 (29)	m8 (96)
26	m0 (28)	m3 (92)	m2 (73)	m7 (27)	m8 (86)	m5 (87)	m9 (96)	m1 (98)	m6 (99)	m4 (70)
27	m9 (32)	m1 (95)	m3 (85)	m6 (81)	m2 (41)	m8 (39)	m7 (92)	m0 (59)	m5 (56)	m4 (52)
28	m4 (93)	m2 (12)	m5 (22)	m6 (27)	m8 (45)	m7 (69)	m3 (60)	m1 (7)	m0 (88)	m9 (49)
29	m2 (61)	m5 (26)	m9 (71)	m8 (44)	m0 (21)	m6 (82)	m3 (68)	m7 (33)	m1 (84)	m4 (99)

Problem name: LA33
Number of Jobs: 30
Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m2 (38)	m4 (75)	m9 (12)	m5 (97)	m0 (76)	m1 (29)	m8 (14)	m6 (66)	m7 (44)	m3 (12)
1	m0 (43)	m5 (38)	m1 (80)	m3 (82)	m2 (85)	m4 (58)	m6 (87)	m8 (92)	m9 (89)	m7 (69)
2	m6 (48)	m4 (8)	m8 (66)	m7 (7)	m2 (14)	m3 (41)	m5 (61)	m0 (43)	m1 (84)	m9 (5)
3	m5 (19)	m3 (74)	m6 (41)	m4 (59)	m8 (43)	m2 (42)	m9 (73)	m7 (97)	m1 (8)	m0 (96)
4	m3 (75)	m5 (5)	m2 (70)	m8 (42)	m7 (23)	m6 (55)	m1 (48)	m9 (38)	m4 (37)	m0 (7)
5	m2 (72)	m7 (31)	m3 (95)	m0 (79)	m4 (25)	m1 (56)	m8 (9)	m9 (60)	m5 (73)	m6 (43)
6	m9 (31)	m3 (78)	m6 (16)	m4 (94)	m7 (86)	m5 (21)	m0 (97)	m8 (53)	m1 (7)	m2 (64)
7	m3 (86)	m2 (65)	m6 (59)	m8 (44)	m1 (33)	m7 (85)	m0 (61)	m5 (32)	m9 (63)	m4 (30)
8	m4 (11)	m5 (61)	m9 (84)	m3 (16)	m7 (90)	m1 (30)	m0 (60)	m8 (93)	m2 (44)	m6 (45)
9	m5 (11)	m2 (28)	m0 (32)	m7 (36)	m8 (31)	m4 (47)	m3 (20)	m6 (52)	m9 (35)	m1 (49)
10	m5 (17)	m3 (34)	m6 (49)	m1 (84)	m0 (85)	m8 (20)	m7 (74)	m9 (68)	m4 (10)	m2 (77)
11	m8 (71)	m5 (7)	m3 (29)	m1 (85)	m4 (76)	m6 (59)	m2 (17)	m0 (17)	m9 (13)	m7 (48)
12	m1 (39)	m9 (16)	m4 (39)	m6 (87)	m7 (11)	m3 (32)	m2 (15)	m0 (19)	m5 (64)	m8 (43)
13	m5 (33)	m8 (82)	m2 (92)	m1 (83)	m6 (32)	m3 (99)	m9 (99)	m4 (91)	m0 (8)	m7 (57)
14	m7 (7)	m0 (48)	m9 (62)	m4 (88)	m6 (21)	m5 (39)	m8 (27)	m3 (91)	m1 (38)	m2 (69)
15	m9 (64)	m8 (45)	m3 (24)	m7 (80)	m2 (67)	m4 (18)	m6 (38)	m0 (88)	m5 (80)	m1 (44)
16	m2 (15)	m3 (72)	m4 (40)	m7 (21)	m8 (52)	m0 (51)	m9 (59)	m1 (24)	m6 (47)	m5 (43)
17	m4 (77)	m7 (43)	m1 (40)	m2 (31)	m8 (76)	m6 (20)	m5 (88)	m3 (70)	m9 (5)	m0 (32)
18	m2 (14)	m7 (58)	m9 (85)	m5 (64)	m1 (26)	m6 (94)	m0 (32)	m3 (49)	m8 (80)	m4 (47)
19	m9 (23)	m1 (11)	m8 (34)	m4 (75)	m7 (79)	m3 (26)	m2 (96)	m0 (5)	m6 (9)	m5 (59)
20	m0 (75)	m2 (20)	m8 (10)	m3 (66)	m6 (43)	m7 (37)	m1 (9)	m9 (83)	m4 (68)	m5 (52)
21	m8 (54)	m1 (26)	m4 (79)	m7 (88)	m6 (84)	m0 (6)	m2 (54)	m9 (59)	m3 (28)	m5 (42)
22	m4 (56)	m9 (29)	m3 (36)	m0 (40)	m6 (86)	m8 (68)	m2 (69)	m7 (23)	m5 (62)	m1 (16)
23	m7 (53)	m1 (5)	m6 (17)	m9 (59)	m2 (59)	m8 (78)	m3 (64)	m0 (82)	m4 (13)	m5 (12)
24	m9 (7)	m6 (62)	m7 (90)	m5 (83)	m1 (85)	m3 (69)	m0 (16)	m4 (81)	m2 (58)	m8 (66)
25	m7 (24)	m2 (65)	m1 (69)	m5 (42)	m9 (82)	m6 (82)	m0 (83)	m3 (46)	m8 (72)	m4 (33)
26	m1 (10)	m8 (27)	m7 (43)	m5 (20)	m4 (71)	m9 (65)	m2 (73)	m6 (99)	m0 (24)	m3 (64)
27	m9 (35)	m3 (92)	m0 (38)	m5 (35)	m7 (30)	m8 (45)	m2 (8)	m4 (82)	m1 (34)	m6 (21)
28	m5 (23)	m7 (84)	m9 (7)	m4 (85)	m8 (60)	m1 (15)	m2 (52)	m6 (94)	m3 (83)	m0 (6)
29	m2 (70)	m6 (29)	m8 (27)	m9 (80)	m4 (6)	m7 (39)	m1 (79)	m0 (28)	m3 (66)	m5 (66)

Problem name: LA34
Number of Jobs: 30
Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m2 (51)	m7 (59)	m1 (35)	m5 (73)	m9 (65)	m0 (27)	m6 (13)	m3 (81)	m8 (32)	m4 (74)
1	m4 (64)	m7 (33)	m5 (75)	m2 (33)	m8 (10)	m0 (28)	m3 (38)	m6 (53)	m9 (49)	m1 (55)
2	m6 (83)	m1 (23)	m2 (72)	m3 (7)	m9 (72)	m0 (6)	m4 (39)	m5 (52)	m8 (90)	m7 (21)
3	m3 (82)	m1 (23)	m2 (93)	m4 (78)	m6 (88)	m7 (53)	m9 (28)	m8 (65)	m5 (21)	m0 (61)
4	m4 (41)	m6 (12)	m9 (12)	m3 (77)	m1 (70)	m7 (24)	m0 (81)	m5 (73)	m2 (62)	m8 (6)
5	m4 (98)	m3 (28)	m6 (42)	m9 (72)	m0 (15)	m8 (15)	m5 (94)	m2 (33)	m1 (51)	m7 (99)
6	m0 (32)	m8 (22)	m9 (96)	m4 (15)	m6 (78)	m3 (31)	m5 (7)	m1 (94)	m2 (23)	m7 (86)
7	m7 (93)	m2 (97)	m3 (43)	m5 (73)	m0 (24)	m8 (68)	m9 (88)	m1 (42)	m4 (35)	m6 (72)
8	m2 (14)	m0 (44)	m8 (13)	m5 (67)	m1 (63)	m3 (49)	m7 (5)	m4 (17)	m6 (85)	m9 (66)
9	m7 (82)	m9 (15)	m3 (72)	m4 (26)	m0 (8)	m1 (68)	m6 (21)	m8 (45)	m2 (99)	m5 (27)
10	m4 (93)	m6 (23)	m0 (51)	m8 (54)	m3 (49)	m1 (96)	m2 (56)	m9 (36)	m5 (53)	m7 (52)
11	m8 (60)	m0 (14)	m4 (70)	m9 (55)	m1 (23)	m5 (83)	m3 (38)	m2 (24)	m7 (37)	m6 (48)
12	m0 (62)	m7 (15)	m8 (69)	m9 (23)	m1 (82)	m6 (26)	m4 (45)	m5 (33)	m3 (12)	m2 (37)
13	m6 (72)	m1 (9)	m7 (15)	m5 (28)	m8 (92)	m9 (12)	m0 (59)	m3 (64)	m4 (87)	m2 (73)
14	m0 (50)	m1 (14)	m7 (90)	m5 (46)	m3 (71)	m4 (48)	m2 (80)	m9 (61)	m8 (24)	m6 (44)
15	m0 (22)	m9 (94)	m5 (16)	m3 (73)	m2 (54)	m8 (54)	m4 (46)	m1 (97)	m6 (61)	m7 (75)
16	m9 (55)	m3 (67)	m6 (77)	m4 (30)	m7 (6)	m1 (32)	m8 (47)	m5 (93)	m2 (6)	m0 (40)
17	m1 (30)	m3 (98)	m7 (79)	m0 (22)	m6 (79)	m2 (7)	m8 (36)	m9 (36)	m5 (9)	m4 (92)
18	m8 (37)	m7 (72)	m2 (52)	m4 (31)	m1 (82)	m9 (54)	m5 (7)	m6 (82)	m3 (73)	m0 (49)
19	m1 (73)	m3 (83)	m7 (45)	m2 (76)	m4 (43)	m9 (29)	m0 (35)	m5 (92)	m8 (39)	m6 (28)
20	m2 (58)	m0 (26)	m1 (48)	m8 (52)	m7 (34)	m6 (96)	m5 (70)	m4 (98)	m3 (80)	m9 (94)
21	m1 (70)	m8 (23)	m5 (26)	m4 (14)	m6 (90)	m2 (93)	m3 (21)	m0 (42)	m7 (18)	m9 (36)
22	m4 (28)	m6 (76)	m7 (25)	m0 (17)	m1 (84)	m2 (67)	m8 (87)	m3 (43)	m9 (88)	m5 (84)
23	m7 (30)	m3 (91)	m8 (52)	m4 (80)	m0 (21)	m5 (8)	m9 (37)	m2 (15)	m6 (12)	m1 (92)
24	m1 (28)	m4 (7)	m7 (46)	m6 (92)	m2 (77)	m3 (15)	m9 (69)	m8 (54)	m0 (47)	m5 (39)
25	m9 (50)	m5 (44)	m2 (64)	m8 (38)	m4 (93)	m6 (33)	m7 (75)	m0 (41)	m1 (24)	m3 (5)
26	m7 (94)	m0 (17)	m6 (87)	m2 (21)	m8 (92)	m9 (28)	m1 (61)	m4 (63)	m3 (34)	m5 (77)
27	m3 (72)	m8 (98)	m9 (5)	m4 (28)	m2 (9)	m5 (95)	m6 (64)	m1 (43)	m0 (50)	m7 (96)
28	m0 (85)	m2 (85)	m8 (39)	m1 (98)	m7 (24)	m3 (71)	m5 (60)	m4 (55)	m9 (22)	m6 (35)
29	m3 (78)	m6 (49)	m2 (46)	m1 (11)	m0 (90)	m5 (20)	m9 (34)	m7 (6)	m4 (70)	m8 (74)

Problem name: LA35
Number of Jobs: 30
Number of Machines: 10

Job# \ Oper.#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m0 (66)	m2 (84)	m3 (26)	m7 (29)	m9 (94)	m6 (98)	m8 (7)	m5 (98)	m1 (45)	m4 (43)
1	m3 (32)	m0 (97)	m6 (55)	m2 (88)	m8 (93)	m9 (88)	m1 (20)	m4 (50)	m7 (17)	m5 (5)
2	m4 (43)	m3 (68)	m8 (47)	m9 (68)	m1 (57)	m6 (20)	m5 (81)	m2 (60)	m7 (94)	m0 (62)
3	m1 (57)	m5 (40)	m0 (78)	m6 (9)	m2 (49)	m9 (17)	m3 (32)	m4 (30)	m8 (87)	m7 (77)
4	m0 (52)	m4 (30)	m3 (48)	m5 (48)	m1 (26)	m9 (17)	m6 (93)	m8 (97)	m7 (49)	m2 (89)
5	m7 (95)	m0 (33)	m1 (5)	m6 (17)	m5 (70)	m3 (57)	m4 (34)	m2 (61)	m8 (62)	m9 (39)
6	m7 (97)	m5 (92)	m1 (31)	m8 (5)	m2 (79)	m4 (5)	m3 (67)	m0 (5)	m9 (78)	m6 (60)
7	m2 (79)	m4 (6)	m7 (20)	m8 (45)	m6 (34)	m3 (24)	m9 (26)	m5 (68)	m1 (16)	m0 (46)
8	m7 (58)	m9 (50)	m2 (19)	m8 (93)	m6 (49)	m3 (25)	m5 (85)	m4 (50)	m0 (93)	m1 (26)
9	m9 (81)	m6 (71)	m5 (7)	m1 (39)	m2 (16)	m8 (42)	m0 (71)	m4 (84)	m3 (56)	m7 (99)
10	m8 (9)	m0 (86)	m9 (6)	m3 (71)	m6 (97)	m5 (85)	m4 (16)	m2 (42)	m7 (81)	m1 (81)
11	m4 (72)	m3 (24)	m0 (30)	m8 (56)	m2 (43)	m1 (61)	m7 (82)	m6 (40)	m5 (59)	m9 (43)
12	m9 (43)	m1 (13)	m6 (70)	m7 (93)	m0 (95)	m8 (12)	m4 (15)	m2 (78)	m5 (97)	m3 (14)
13	m0 (14)	m6 (26)	m1 (71)	m3 (46)	m8 (80)	m5 (31)	m4 (37)	m9 (27)	m7 (92)	m2 (67)
14	m2 (12)	m0 (43)	m5 (96)	m6 (7)	m3 (45)	m7 (20)	m1 (13)	m9 (29)	m4 (60)	m8 (33)
15	m1 (78)	m5 (50)	m6 (84)	m0 (42)	m8 (84)	m4 (30)	m9 (76)	m2 (57)	m7 (87)	m3 (59)
16	m4 (49)	m7 (50)	m1 (15)	m8 (13)	m0 (93)	m6 (50)	m9 (32)	m5 (59)	m3 (10)	m2 (35)
17	m1 (25)	m0 (47)	m7 (60)	m8 (33)	m4 (53)	m5 (37)	m9 (73)	m2 (22)	m3 (87)	m6 (79)
18	m0 (84)	m6 (83)	m1 (71)	m5 (68)	m9 (89)	m8 (11)	m3 (60)	m4 (50)	m2 (33)	m7 (97)
19	m1 (14)	m0 (38)	m6 (88)	m5 (5)	m4 (77)	m7 (92)	m8 (24)	m2 (73)	m9 (52)	m3 (71)
20	m7 (62)	m9 (19)	m6 (38)	m3 (15)	m8 (64)	m2 (64)	m4 (8)	m1 (61)	m0 (19)	m5 (33)
21	m2 (33)	m5 (46)	m4 (74)	m0 (56)	m6 (84)	m9 (83)	m8 (19)	m7 (8)	m3 (32)	m1 (97)
22	m4 (50)	m3 (71)	m6 (50)	m2 (97)	m9 (8)	m0 (17)	m7 (19)	m8 (92)	m5 (54)	m1 (52)
23	m8 (32)	m1 (79)	m3 (97)	m5 (38)	m9 (49)	m4 (76)	m6 (76)	m0 (56)	m2 (78)	m7 (54)
24	m5 (13)	m3 (5)	m2 (25)	m0 (86)	m1 (95)	m9 (28)	m6 (78)	m8 (24)	m7 (10)	m4 (39)
25	m7 (48)	m2 (59)	m0 (20)	m9 (7)	m5 (31)	m6 (97)	m1 (89)	m4 (32)	m3 (25)	m8 (41)
26	m5 (87)	m0 (18)	m9 (48)	m2 (43)	m1 (30)	m6 (97)	m7 (47)	m8 (65)	m3 (69)	m4 (27)
27	m6 (71)	m5 (20)	m8 (20)	m1 (78)	m3 (39)	m0 (17)	m7 (50)	m2 (44)	m9 (42)	m4 (38)
28	m0 (50)	m9 (42)	m3 (72)	m5 (7)	m1 (77)	m7 (58)	m4 (78)	m2 (89)	m6 (70)	m8 (36)
29	m3 (32)	m9 (95)	m2 (13)	m0 (73)	m6 (97)	m8 (24)	m4 (49)	m5 (57)	m1 (68)	m7 (94)

Problem name: LA36															
Number of Jobs: 15															
Number of Machines: 15															
Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9	Operation 10	Operation 11	Operation 12	Operation 13	Operation 14
0	m4 (21)	m3 (55)	m6 (71)	m14 (98)	m10 (12)	m2 (34)	m9 (16)	m1 (21)	m0 (53)	m7 (26)	m8 (52)	m5 (95)	m12 (31)	m11 (42)	m13 (39)
1	m11 (54)	m4 (83)	m1 (77)	m7 (64)	m8 (34)	m14 (79)	m12 (43)	m0 (55)	m3 (77)	m6 (19)	m9 (37)	m5 (79)	m10 (92)	m13 (62)	m2 (66)
2	m9 (83)	m5 (77)	m2 (87)	m7 (38)	m4 (60)	m12 (98)	m0 (93)	m13 (17)	m6 (41)	m10 (44)	m3 (69)	m11 (49)	m8 (24)	m1 (87)	m14 (25)
3	m5 (77)	m0 (96)	m9 (28)	m6 (7)	m4 (95)	m13 (35)	m7 (35)	m8 (76)	m11 (9)	m12 (95)	m2 (43)	m1 (75)	m10 (61)	m14 (10)	m3 (79)
4	m10 (87)	m4 (28)	m8 (50)	m2 (59)	m0 (46)	m11 (45)	m14 (9)	m9 (43)	m6 (52)	m7 (27)	m1 (91)	m13 (41)	m3 (16)	m5 (59)	m12 (39)
5	m0 (20)	m2 (71)	m4 (78)	m13 (66)	m3 (14)	m12 (8)	m14 (42)	m6 (28)	m1 (54)	m9 (33)	m11 (89)	m8 (26)	m7 (37)	m10 (33)	m5 (43)
6	m8 (69)	m4 (96)	m12 (17)	m0 (69)	m7 (45)	m11 (31)	m6 (78)	m10 (20)	m3 (27)	m13 (87)	m1 (74)	m5 (84)	m14 (76)	m2 (94)	m9 (81)
7	m4 (58)	m13 (90)	m11 (76)	m3 (81)	m7 (23)	m9 (28)	m1 (18)	m2 (32)	m12 (86)	m8 (99)	m14 (97)	m0 (24)	m10 (45)	m6 (72)	m5 (25)
8	m5 (27)	m1 (46)	m6 (67)	m8 (27)	m13 (19)	m10 (80)	m2 (17)	m3 (48)	m7 (62)	m11 (12)	m14 (28)	m4 (98)	m0 (42)	m9 (48)	m12 (50)
9	m11 (37)	m5 (80)	m4 (75)	m8 (55)	m7 (50)	m0 (94)	m9 (14)	m6 (41)	m14 (72)	m3 (50)	m10 (61)	m13 (79)	m2 (98)	m12 (18)	m1 (63)
10	m7 (65)	m3 (96)	m0 (47)	m4 (75)	m12 (69)	m14 (58)	m10 (33)	m1 (71)	m9 (22)	m13 (32)	m5 (57)	m8 (79)	m2 (14)	m11 (31)	m6 (60)
11	m1 (34)	m2 (47)	m3 (58)	m5 (51)	m4 (62)	m6 (44)	m9 (8)	m7 (17)	m10 (97)	m8 (29)	m11 (15)	m13 (66)	m12 (40)	m0 (44)	m14 (38)
12	m3 (50)	m7 (57)	m13 (61)	m5 (20)	m11 (85)	m12 (90)	m2 (58)	m4 (63)	m10 (84)	m1 (39)	m9 (87)	m6 (21)	m14 (56)	m8 (32)	m0 (57)
13	m9 (84)	m7 (45)	m5 (15)	m14 (41)	m10 (18)	m4 (82)	m11 (29)	m2 (70)	m1 (67)	m3 (30)	m13 (50)	m6 (23)	m0 (20)	m12 (21)	m8 (38)
14	m9 (37)	m10 (81)	m11 (61)	m14 (57)	m8 (57)	m0 (52)	m7 (74)	m6 (62)	m12 (30)	m1 (52)	m2 (38)	m13 (68)	m4 (54)	m3 (54)	m5 (16)

Problem name: LA37															
Number of Jobs: 15															
Number of Machines: 15															
Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9	Operation 10	Operation 11	Operation 12	Operation 13	Operation 14
0	m5 (19)	m6 (64)	m11 (73)	m9 (13)	m2 (84)	m14 (88)	m3 (85)	m10 (41)	m12 (53)	m13 (80)	m1 (66)	m7 (46)	m8 (59)	m4 (25)	m0 (62)
1	m1 (67)	m3 (74)	m7 (41)	m2 (57)	m14 (52)	m0 (14)	m9 (64)	m8 (84)	m6 (78)	m5 (47)	m13 (28)	m4 (84)	m10 (63)	m12 (26)	m11 (46)
2	m6 (97)	m8 (95)	m0 (64)	m9 (38)	m10 (59)	m12 (95)	m2 (17)	m11 (65)	m13 (93)	m3 (10)	m5 (73)	m1 (11)	m4 (85)	m14 (46)	m7 (67)
3	m10 (23)	m12 (49)	m3 (32)	m4 (66)	m2 (43)	m0 (60)	m8 (41)	m7 (61)	m13 (70)	m9 (49)	m11 (17)	m6 (90)	m1 (85)	m14 (99)	m5 (85)
4	m9 (98)	m8 (57)	m3 (73)	m6 (9)	m0 (73)	m7 (7)	m1 (98)	m4 (13)	m13 (41)	m5 (40)	m11 (85)	m10 (37)	m2 (68)	m14 (79)	m12 (17)
5	m11 (66)	m7 (53)	m5 (86)	m6 (40)	m0 (14)	m3 (19)	m13 (96)	m4 (95)	m2 (54)	m10 (84)	m12 (97)	m8 (16)	m14 (52)	m1 (76)	m9 (87)
6	m4 (77)	m2 (55)	m9 (42)	m5 (74)	m14 (91)	m13 (33)	m10 (16)	m12 (54)	m0 (18)	m3 (87)	m7 (60)	m8 (13)	m6 (33)	m1 (33)	m11 (61)
7	m6 (41)	m5 (39)	m11 (82)	m9 (64)	m14 (47)	m10 (28)	m7 (78)	m13 (49)	m1 (79)	m4 (58)	m2 (92)	m3 (79)	m12 (6)	m0 (69)	m8 (76)
8	m11 (21)	m5 (42)	m9 (91)	m2 (28)	m0 (52)	m6 (88)	m12 (76)	m13 (86)	m10 (23)	m1 (35)	m7 (52)	m4 (91)	m3 (47)	m14 (82)	m8 (24)
9	m11 (42)	m1 (93)	m3 (95)	m13 (45)	m9 (28)	m14 (77)	m0 (84)	m10 (8)	m7 (45)	m4 (70)	m5 (37)	m6 (86)	m12 (64)	m8 (67)	m2 (38)
10	m4 (97)	m12 (81)	m1 (58)	m7 (84)	m5 (58)	m0 (9)	m11 (87)	m3 (5)	m2 (44)	m13 (85)	m6 (89)	m10 (77)	m9 (96)	m14 (39)	m8 (77)
11	m12 (80)	m1 (21)	m10 (10)	m5 (73)	m8 (70)	m6 (49)	m2 (31)	m13 (34)	m4 (40)	m11 (22)	m0 (15)	m14 (82)	m3 (57)	m9 (71)	m7 (48)
12	m2 (17)	m7 (62)	m5 (75)	m9 (35)	m1 (91)	m14 (50)	m3 (7)	m10 (64)	m13 (75)	m12 (94)	m0 (55)	m6 (72)	m8 (47)	m4 (11)	m11 (90)
13	m11 (93)	m6 (57)	m1 (71)	m12 (70)	m9 (93)	m5 (20)	m3 (15)	m13 (77)	m10 (58)	m0 (12)	m2 (67)	m8 (68)	m14 (7)	m7 (29)	m4 (52)
14	m13 (76)	m3 (27)	m4 (26)	m9 (36)	m11 (8)	m10 (36)	m0 (95)	m8 (48)	m2 (82)	m6 (87)	m5 (6)	m1 (63)	m7 (56)	m12 (36)	m14 (15)

Problem name: LA38															
Number of Jobs: 15															
Number of Machines: 15															
Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9	Operation 10	Operation 11	Operation 12	Operation 13	Operation 14
0	m1 (26)	m12 (67)	m0 (72)	m6 (74)	m14 (13)	m8 (43)	m4 (30)	m3 (19)	m10 (23)	m11 (85)	m5 (98)	m13 (43)	m2 (38)	m7 (8)	m9 (75)
1	m14 (42)	m0 (39)	m4 (55)	m12 (46)	m1 (19)	m8 (93)	m9 (80)	m5 (26)	m10 (7)	m6 (50)	m11 (57)	m3 (73)	m2 (9)	m7 (61)	m13 (72)
2	m3 (96)	m4 (99)	m12 (34)	m6 (60)	m7 (43)	m14 (7)	m13 (12)	m8 (11)	m11 (70)	m10 (43)	m0 (91)	m1 (68)	m9 (11)	m5 (68)	m2 (72)
3	m14 (63)	m11 (45)	m4 (49)	m1 (74)	m8 (27)	m0 (30)	m9 (72)	m7 (9)	m12 (99)	m13 (60)	m5 (69)	m6 (69)	m2 (84)	m3 (40)	m10 (59)
4	m2 (91)	m0 (75)	m9 (98)	m3 (17)	m10 (72)	m13 (31)	m11 (9)	m14 (98)	m7 (50)	m5 (37)	m4 (8)	m8 (65)	m1 (90)	m12 (91)	m6 (71)
5	m11 (35)	m6 (80)	m4 (39)	m3 (62)	m14 (74)	m5 (72)	m10 (35)	m9 (25)	m1 (49)	m8 (52)	m7 (63)	m2 (90)	m13 (21)	m12 (47)	m0 (38)
6	m14 (19)	m7 (57)	m10 (24)	m13 (91)	m3 (50)	m0 (5)	m11 (49)	m12 (18)	m9 (58)	m5 (24)	m8 (52)	m1 (88)	m2 (68)	m6 (20)	m4 (53)
7	m7 (77)	m14 (72)	m5 (35)	m11 (90)	m4 (68)	m6 (18)	m3 (9)	m0 (33)	m8 (60)	m10 (18)	m12 (10)	m13 (60)	m1 (38)	m2 (99)	m9 (15)
8	m13 (6)	m8 (86)	m2 (40)	m9 (79)	m12 (92)	m11 (23)	m5 (89)	m10 (95)	m6 (91)	m7 (72)	m0 (80)	m1 (60)	m3 (56)	m4 (51)	m14 (23)
9	m1 (46)	m6 (28)	m5 (34)	m11 (77)	m4 (47)	m0 (10)	m14 (49)	m8 (77)	m10 (48)	m7 (24)	m12 (8)	m2 (72)	m13 (55)	m9 (29)	m3 (40)
10	m10 (22)	m4 (89)	m12 (79)	m0 (7)	m9 (15)	m1 (6)	m11 (30)	m6 (38)	m5 (11)	m8 (52)	m3 (20)	m7 (5)	m14 (9)	m2 (20)	m13 (28)
11	m5 (73)	m14 (56)	m2 (37)	m3 (22)	m13 (25)	m6 (58)	m1 (8)	m7 (93)	m4 (88)	m8 (17)	m12 (9)	m11 (69)	m10 (71)	m9 (85)	m0 (55)
12	m9 (85)	m14 (58)	m3 (46)	m8 (64)	m2 (49)	m6 (37)	m1 (33)	m4 (30)	m5 (26)	m0 (20)	m13 (74)	m10 (77)	m12 (99)	m11 (56)	m7 (21)
13	m10 (17)	m3 (24)	m4 (89)	m5 (15)	m11 (60)	m1 (42)	m8 (98)	m2 (64)	m13 (92)	m0 (63)	m7 (52)	m12 (54)	m6 (75)	m14 (23)	m9 (38)
14	m3 (8)	m5 (17)	m11 (56)	m7 (93)	m14 (26)	m9 (62)	m6 (7)	m10 (88)	m0 (97)	m1 (7)	m2 (43)	m8 (29)	m13 (35)	m12 (87)	m4 (57)

Problem name: LA39															
Number of Jobs: 15															
Number of Machines: 15															
Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9	Operation 10	Operation 11	Operation 12	Operation 13	Operation 14
0	m10 (51)	m14 (43)	m7 (80)	m4 (18)	m6 (38)	m3 (24)	m2 (67)	m12 (15)	m11 (24)	m13 (72)	m8 (45)	m5 (80)	m9 (64)	m1 (44)	m0 (88)
1	m6 (40)	m9 (88)	m10 (77)	m5 (59)	m11 (20)	m3 (52)	m8 (70)	m0 (40)	m4 (32)	m13 (76)	m12 (43)	m7 (31)	m2 (21)	m14 (5)	m1 (47)
2	m0 (32)	m3 (49)	m10 (5)	m5 (64)	m7 (58)	m8 (80)	m6 (94)	m11 (11)	m1 (26)	m13 (26)	m14 (59)	m9 (85)	m4 (47)	m12 (96)	m2 (14)
3	m5 (23)	m6 (9)	m0 (75)	m12 (37)	m11 (43)	m2 (79)	m4 (75)	m3 (34)	m7 (20)	m13 (10)	m14 (83)	m10 (68)	m9 (52)	m8 (66)	m1 (9)
4	m12 (69)	m9 (59)	m3 (28)	m14 (62)	m13 (36)	m1 (26)	m6 (84)	m11 (16)	m8 (54)	m5 (42)	m2 (54)	m0 (6)	m10 (40)	m7 (88)	m4 (79)
5	m13 (78)	m12 (53)	m11 (17)	m5 (29)	m4 (82)	m2 (23)	m9 (12)	m8 (64)	m1 (86)	m7 (59)	m6 (5)	m3 (68)	m14 (59)	m10 (13)	m0 (56)
6	m10 (83)	m13 (46)	m9 (7)	m12 (65)	m11 (69)	m6 (62)	m0 (16)	m2 (58)	m8 (66)	m5 (83)	m7 (90)	m14 (42)	m4 (81)	m3 (69)	m1 (85)
7	m7 (73)	m10 (71)	m8 (64)	m6 (10)	m9 (20)	m11 (99)	m4 (24)	m14 (65)	m5 (82)	m3 (72)	m12 (43)	m1 (82)	m13 (27)	m2 (24)	m0 (33)
8	m4 (82)	m1 (34)	m3 (92)	m2 (8)	m0 (38)	m8 (45)	m6 (21)	m5 (35)	m12 (52)	m9 (35)	m11 (15)	m14 (23)	m10 (6)	m13 (83)	m7 (30)
9	m2 (84)	m5 (7)	m9 (66)	m10 (6)	m4 (28)	m13 (27)	m6 (79)	m7 (70)	m0 (85)	m1 (94)	m3 (60)	m14 (80)	m12 (39)	m8 (66)	m11 (29)
10	m3 (44)	m6 (58)	m13 (14)	m8 (65)	m1 (72)	m5 (14)	m12 (52)	m4 (21)	m9 (25)	m0 (5)	m11 (51)	m7 (61)	m14 (55)	m10 (42)	m2 (36)
11	m14 (43)	m10 (72)	m5 (78)	m11 (12)	m12 (17)	m0 (46)	m9 (27)	m6 (51)	m2 (63)	m1 (79)	m8 (79)	m7 (91)	m4 (49)	m13 (26)	m3 (93)
12	m7 (49)	m0 (49)	m4 (71)	m5 (78)	m9 (44)	m10 (41)	m12 (91)	m13 (84)	m8 (91)	m6 (21)	m11 (47)	m14 (28)	m3 (61)	m2 (70)	m1 (93)
13	m3 (25)	m4 (85)	m0 (66)	m2 (45)	m10 (95)	m12 (21)	m8 (84)	m5 (24)	m9 (53)	m7 (67)	m6 (91)	m11 (11)	m13 (32)	m1 (30)	m14 (89)
14	m3 (92)	m7 (93)	m0 (99)	m1 (40)	m10 (37)	m12 (69)	m5 (66)	m6 (57)	m14 (22)	m9 (44)	m8 (73)	m13 (97)	m11 (18)	m2 (69)	m4 (41)

Problem name: LA40															
Number of Jobs: 15															
Number of Machines: 15															
Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9	Operation 10	Operation 11	Operation 12	Operation 13	Operation 14
0	m9 (65)	m10 (28)	m4 (74)	m12 (33)	m2 (51)	m14 (75)	m5 (73)	m8 (32)	m6 (13)	m3 (81)	m1 (35)	m7 (59)	m13 (38)	m11 (55)	m0 (27)
1	m0 (64)	m1 (53)	m11 (83)	m2 (33)	m4 (6)	m9 (52)	m14 (72)	m8 (7)	m13 (90)	m12 (21)	m6 (23)	m3 (10)	m10 (39)	m5 (49)	m7 (72)
2	m14 (73)	m3 (82)	m1 (23)	m12 (62)	m6 (88)	m5 (21)	m8 (65)	m11 (70)	m7 (53)	m10 (81)	m2 (93)	m13 (77)	m0 (61)	m9 (28)	m4 (78)
3	m1 (12)	m6 (51)	m7 (33)	m4 (15)	m14 (72)	m10 (98)	m9 (94)	m5 (12)	m11 (42)	m2 (24)	m13 (15)	m8 (28)	m3 (6)	m12 (99)	m0 (41)
4	m12 (97)	m5 (7)	m9 (96)	m4 (15)	m14 (73)	m13 (43)	m0 (32)	m8 (22)	m11 (42)	m1 (94)	m2 (23)	m7 (86)	m6 (78)	m10 (24)	m3 (31)
5	m1 (72)	m5 (88)	m2 (93)	m13 (13)	m4 (44)	m14 (66)	m6 (63)	m7 (14)	m9 (67)	m10 (17)	m11 (85)	m0 (35)	m3 (68)	m12 (5)	m8 (49)
6	m9 (15)	m7 (82)	m6 (21)	m14 (53)	m3 (72)	m13 (49)	m2 (99)	m4 (26)	m12 (56)	m8 (45)	m1 (68)	m10 (51)	m0 (8)	m5 (27)	m11 (96)
7	m3 (54)	m7 (24)	m4 (14)	m8 (38)	m5 (36)	m2 (52)	m14 (55)	m12 (37)	m11 (48)	m0 (93)	m13 (60)	m10 (70)	m1 (23)	m6 (23)	m9 (83)
8	m3 (12)	m8 (69)	m6 (26)	m9 (23)	m14 (28)	m1 (82)	m5 (33)	m4 (45)	m13 (64)	m7 (15)	m11 (9)	m12 (73)	m10 (59)	m2 (37)	m0 (62)
9	m0 (87)	m5 (12)	m7 (80)	m4 (50)	m10 (48)	m12 (90)	m1 (72)	m13 (24)	m6 (14)	m8 (71)	m11 (44)	m9 (46)	m2 (15)	m14 (61)	m3 (92)
10	m2 (54)	m0 (22)	m6 (61)	m4 (46)	m3 (73)	m5 (16)	m12 (6)	m9 (94)	m14 (93)	m13 (67)	m8 (54)	m7 (75)	m11 (32)	m10 (40)	m1 (97)
11	m10 (92)	m14 (36)	m4 (22)	m9 (9)	m3 (47)	m1 (77)	m12 (79)	m13 (36)	m6 (30)	m8 (98)	m11 (79)	m7 (7)	m5 (55)	m2 (6)	m0 (30)
12	m0 (49)	m13 (83)	m3 (73)	m6 (82)	m1 (82)	m14 (92)	m11 (73)	m4 (31)	m10 (35)	m9 (54)	m5 (7)	m8 (37)	m7 (72)	m2 (52)	m12 (76)
13	m10 (98)	m12 (34)	m13 (52)	m4 (26)	m1 (28)	m3 (39)	m8 (80)	m5 (29)	m9 (70)	m0 (43)	m6 (48)	m7 (58)	m2 (45)	m14 (94)	m11 (96)
14	m1 (70)	m10 (17)	m6 (90)	m12 (67)	m4 (14)	m8 (23)	m3 (21)	m7 (18)	m13 (43)	m11 (84)	m5 (26)	m9 (36)	m2 (93)	m14 (84)	m0 (42)

Problem name: FT06

Number of Jobs: 6

Number of Machines: 6

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5
0	m2 (1)	m0 (3)	m1 (6)	m3 (7)	m5 (3)	m4 (6)
1	m1 (8)	m2 (5)	m4 (10)	m5 (10)	m0 (10)	m3 (4)
2	m2 (5)	m3 (4)	m5 (8)	m0 (9)	m1 (1)	m4 (7)
3	m1 (5)	m0 (5)	m2 (5)	m3 (3)	m4 (8)	m5 (9)
4	m2 (9)	m1 (3)	m4 (5)	m5 (4)	m0 (3)	m3 (1)
5	m1 (3)	m3 (3)	m5 (9)	m0 (10)	m4 (4)	m2 (1)

Problem name: FT10

Number of Jobs: 10

Number of Machines: 10

Oper.# Job#	Operation 0	Operation 1	Operation 2	Operation 3	Operation 4	Operation 5	Operation 6	Operation 7	Operation 8	Operation 9
0	m0 (29)	m1 (78)	m2 (9)	m3 (36)	m4 (49)	m5 (11)	m6 (62)	m7 (56)	m8 (44)	m9 (21)
1	m0 (43)	m2 (90)	m4 (75)	m9 (11)	m3 (69)	m1 (28)	m6 (46)	m5 (46)	m7 (72)	m8 (30)
2	m1 (91)	m0 (85)	m3 (39)	m2 (74)	m8 (90)	m5 (10)	m7 (12)	m6 (89)	m9 (45)	m4 (33)
3	m1 (81)	m2 (95)	m0 (71)	m4 (99)	m6 (9)	m8 (52)	m7 (85)	m3 (98)	m9 (22)	m5 (43)
4	m2 (14)	m0 (6)	m1 (22)	m5 (61)	m3 (26)	m4 (69)	m8 (21)	m7 (49)	m9 (72)	m6 (53)
5	m2 (84)	m1 (2)	m5 (52)	m3 (95)	m8 (48)	m9 (72)	m0 (47)	m6 (65)	m4 (6)	m7 (25)
6	m1 (46)	m0 (37)	m3 (61)	m2 (13)	m6 (32)	m5 (21)	m9 (32)	m8 (89)	m7 (30)	m4 (55)
7	m2 (31)	m0 (86)	m1 (46)	m5 (74)	m4 (32)	m6 (88)	m8 (19)	m9 (48)	m7 (36)	m3 (79)
8	m0 (76)	m1 (69)	m3 (76)	m5 (51)	m2 (85)	m9 (11)	m6 (40)	m7 (89)	m4 (26)	m8 (74)
9	m1 (85)	m0 (13)	m2 (61)	m6 (7)	m8 (64)	m9 (76)	m5 (47)	m3 (52)	m4 (90)	m7 (45)