



工件大小不一致單一批次機器之排程問題

Scheduling a Batch-processing Machine with Non-identical Job Sizes

曾心珮 Hsin-Pei Tseng¹
林俊逸 Chun-Yi Lin²

摘要

本研究探討具機器容量限制的工件大小不一致之批次處理排程問題。每個工件有各別的加工時間和大小，在不違反機器容量限制下可以將工件批次進行加工，而批次處理的時間為該批中工件加工時間最長者。為了提升機器之使用效率使得總完工時間最小化，本研究提出一混合式模擬退火法求解隨機產生之各種情況問題。經由實驗結果顯示混合式模擬退火法在效果的績效上皆有良好的表現。

關鍵字：模擬退火法、批次處理機器、排程

Abstract

This research is exploring a batch-processing machine with non-identical job sizes and machine capacity constraints. Each job has a corresponding processing time and size. The machine can process the jobs in a batch as long as not violate the machine capacity constraints. The process time of a batch is equal to the longest job processing time among all the jobs in the batch. The objective is to minimize the makespan. An effective hybrid simulated annealing approach is proposed and tested with random instances. The results show that the proposed hybrid simulated annealing approach perform better than previous known simulated annealing approach.

Keywords: Simulated annealing, Batch processing, Scheduling.

壹、前言

隨著不同產業相繼要求達成高品質、低成本和滿足顧客滿意度，許多企業試圖找出一套解決方法可以滿足上述多目標，而在生產管理中，排程扮演了極為重要的角色，其對未來欲完成的工作做設定時間，並探討如何將有限的資源（設備、人力和空間）作妥善的決策安排，以達到所需最佳化績效指標。而批次處理機器可以將兩個以上的工件分配至批次中同時進行處理，並分成一批次一批次進行加工。批次處理機器可以應用的範圍十分廣泛，其可應用於熱處理爐、積體電路測試、晶圓製造、半導體製造、船閘的船隻排班等等。

¹ 長庚大學資訊管理學系(聯絡電話：03-2118800 轉 3232，E-mail: hopepei611@gmail.com)。

² 長庚大學資訊管理學系助理教授

在半導體製造工廠中，測試製程可分為晶圓測試與最終測試，前者為封裝前對晶圓之測試，後者為晶粒封裝後之測試，而預燒(Burn-in)製程是晶片製造程序中的後段測試過程，其目的是提供待測品於高溫、高電壓的環境，使生命週期較短的待測品在預燒過程中，提早顯現其特性。主機板裝配下的環境壓迫篩選製程(Environmental Stress Screening, ESS)具有批次處理之特性，其製程先通過預燒，再整批進入測試室(Chamber)進行測試。由於預燒與測試製程的設備都非常昂貴且為整個製程中之瓶頸機器，故充分使用設備可以提升產品品質或是減少在生產過程中不必要之浪費，因此一個良好的生產排程可以使設備的使用率達到最佳，有助於提升競爭力及獲利能力。

環境壓迫篩選製程中其批量大小因機器容量的緣故，皆有其上限。另外，當某一批次工作開始處理後，在該批次工作未完成前，該批次中的任何一個工件都不可被移除，也不可以在處理中加入新的工作，亦即該批次的處理時間等於該批次工作中處理時間最長者。本研究所要探討的為具有批次加工處理特性且在機器大小固定的條件下，不同工件大小組成批次的排程問題，於此情境當中找出符合關鍵績效指標之排程近似最佳解。由於排程具有時效性，一般的數學規劃雖然可以求得最佳解，但是耗費時間冗長，有鑑於此，本研究將利用啟發式演算法來求解，並評估不同方法在本研究的限制條件下執行的效益，嘗試在此限制條件下找出最小完工時間，達到求解品質的改善。

接下來第二章進行工件大小不一致之批次處理排程問題相關文獻進行分類，以及本研究會使用的方法；第三章會對本研究的問題進行相關限制的解釋並介紹本研究提出的混合式模擬退火方法；第四章會實作演算法並加以比較實作的結果；最後是第五章的討論與結論的部分。

貳、文獻探討

一、排程問題種類

當需要決定一群工件之加工順序時，就出現了所謂的排程問題(Conway et al., 1967)，而排程順序決定的同時，也建議了每個工件在何時、何地做什麼事(Parunak, 1991)。Graham et al.(1979)與 Pinedo(1995)指出排程問題可用 α 、 β 、 γ 來做表示， α 表示為排程之機器環境； β 表示工件之加工特性與限制； γ 表示為排程的績效指標。在不同的環境之下，排程考慮的因素也不相同，以下將對 α 、 β 、 γ 作一介紹。

α ：排程之機器環境

依據工件的處理性質和機器數目的不同分為五種類型：(1)單機排程(Single Machine Scheduling)：工廠內只有一部機器，所有工件的加工均透過此機器來做加工處理。在實際的生產系統中，通常機器可以根據其加工的特性概分為單件加工機器(Discrete Processor)和批次加工機器(Batch Processor)。(2)平行機器排程(Parallel Machine Scheduling)：Baker(1974)將平行機生產型態定義為：「生產的工件，經過平行機中任何一部即可完成加

工，而同時有多部機器可供利用」。(3)流程式工廠排程(Flow Shop Scheduling)：各個工件的處理程序均相同，且工件經過各部機器的順序都是相同的。(4)零工式工廠排程(Job Shop Scheduling)：此類型的排程和流程式排程差異之處在於零工式工廠的排程中每個工件有其固定的製造流程，但不同的工件之製造流程並不完全相同。(5)開放式工廠排程(Open Shop Scheduling)：類似零工式工廠排程問題，差異之處在於所有工件的製造順序是不固定的，而每台機器上工件的處理順序也是無一定的製造流程。

β ：工件之加工特性與限制

依照工件與路徑之加工特性與限制，其需要考慮的因素分別為：(1)作業處理可中斷(Preemptive)：工件於機器上進行加工時，可以任意被中斷其加工過程，之後可以接著進行其剩餘未加工完成的部分。(2)資源限制：在作業線中有一關鍵資源是具有限制的，且該資源在任何工件進行加工時都需使用，若此資源已被其他工件使用，則必須等待該關鍵資源被釋放才可以接續使用。(3)起始時間(Release Time)：依照工件抵達之時間可以分為靜態和動態。(4)機器之加工上限：機器具有可加工的上限限制，但此一限制只會出現在零工式工廠排程中。(5)單一時間工件(Unit-time Operations)：所有工件之加工時間於機器上均為相同。(6)工件加工時間不一致 (Non-identical Time Operations)：機器對於不同工件之加工時間均不相同。

γ ：排程的績效指標

在排程問題中，即使生產環境和限制是相同的，但不同的評估績效指標還是會影響求解問題之複雜度，以下分別為幾種常見之排程問題績效指標：(1)總完工時間(Makespan)：完成工件加工所需的總時間，也就是從第一個工件在第一台機器開始加工時算起，到最後一個工件在最後一台機器上完成加工時為止所經過的全部時間。(2)總流程時間(Total Flow Time)：工件流程時間為工件可以開始加工到完工的時間，將所有工件的工件流程時間加總即為總流程時間。(3)總延遲時間(Total Tardiness)：當工件完成時間超過交期時間即為延遲工件，延遲工件的延遲時間為完工時間減去交期時間，將所有工件的延遲時間加總，即為總延遲時間。

二、批次排程問題

喻瀚寬(1997)提出在實際情境中，依照批次處理時間的分類，可以將批次處理機器的生產型態分為三種類型，以下進行分類及做詳細解釋。

(一)加工時間為一常數之批次型態

不論在一個批次內工件數量的多寡，批次處理時間均假設為一常數，批次內的工件可以同時被加工(Ikura & Gimple, 1986)，此類型可應用於半導體晶圓製造廠之排程問題。

(二)總合加工時間之批次型態

由批次內的工件決定批次處理時間，即同一批次中所有工件之加工時間的總和為批次處理時間。工件可以群聚成批次來做處理，但是機台同一時間只可以加工一個批次 (Cheng et al., 1996)。

(三)最長加工時間之批次型態

此類型之加工型態相似於加工時間為一常數的批次處理時間，其可以同時加工同一批次內的工件，但是批次處理時間為同一批次中最長加工時間之工件所決定 (Lee et al., 1983)，此類型多應用於半導體測試產業、金屬加工之熱處理製程作業以及製陶業之燒陶製程作業等。Melouk et al.(2004)以及Dopont和Dhaenens-Flipo(2002)研究中均使用批次處理加工的時間決定了批次的組成來求解問題。而此加工型態當中，包含兩個項目需要決策：一項是要如何將工件依據問題之差異予以分配成批次；另一項則是要如何安排各個批次間之加工順序。最長加工時間批次型態之排程問題中又可以依據工件大小之特性分為兩大類型：(1)單一工件大小(Unit job size)：所有工件對於機器容量的耗費數量均相同。(2)工件大小不一致(Non-identical Job Sizes)：每一個工件對於機器容量的耗費數量並不一定完全相同。

三、排程問題解法

具有工件大小不一致特性的單機批次處理排程問題(Single Batch-processing Machine with Non-identical Job Sizes, NSBM)，最早是 Uzsoy(1994)提出，其研究結果證明此類型的排程問題是一 NP-hard 問題，此研究亦是最早以總完工時間為評估準則。工件大小不一致之批次處理排程問題是一複雜性的問題，先前探討此類型問題之文獻與傳統的排程問題相比並不多，隨著啟發式演算法方法逐漸提出，有越來越多的學者針對此問題提出求解之方法。以下針對工件大小不一致之批次處理排程問題常用的啟發式演算法相關文獻作一介紹。

(一)啟發式演算法

當排程問題的規模相當大時，求出最佳解可能需要耗費相當大的計算時間，使用近似解法可以在求解的品質和計算之時間取得平衡，找出一個近似最佳解但不需花費太多時間的解。Sung et al.(2000)提出一個啟發式演算法求解總完工時間最小化之批次處理流程式工廠問題。Damodaran et al.(2006)依照工件大小與最優配置法(Best-fit, BF)決定各個批次之組成，最後利用單點交換的交配機制求解工件大小不一致之批次處理排程其總完工時間最小化。經由實驗的結果與公認之最佳解做比較，顯示在一般規模問題有不錯的表現。Kashan et al.(2006)提出以序列為基礎的基因演算法(Sequence-based GA, SGA)和以批次為基礎的混合式基因演算法(Batch-based Hybrid GA, BHGA)，經由實驗分析 BHGA、SGA 和 SA 相比，BHGA 是三者中績效顯著最佳的。Kashan et al.(2010)提出一個混合式多目標基因演算

法，求解總完工時間及延遲時間最小化工件不一致之單機批次處理排程問題，實驗結果顯示此方法能有效的得到近似解。

(二)模擬退火法

模擬退火法最早是由 Metropolis et al.(1953)提出，但直到後來 Kirpartick et al.(1983)利用其求解組合最佳化問題時，模擬退火法才逐漸受到研究學者的重視，成為解決排列組合問題的經典方法之一。模擬退火法是取自大自然物理結構的現象，當固體加熱到一定的溫度時，會由固體結構轉變為液體結構，之後再對其降溫過程進行管控，使其重新排列變回固體結構時所期望之穩定狀態。此方法須滿足兩個限制條件為：(1)當溫度夠高時，系統的組態須要能夠在能量的表面自由移動。(2)當溫度變小時，系統的組態在能量表面的移動受到限制，並逐漸向低能量的區域集中。

模擬退火法首先需要設定實驗的參數，其包含了初始溫度 T_0 、降溫比例和執行次數，接著隨機產生一組初始解，利用鄰近解產生機制產生鄰近解。接著利用績效指標評估是否能接受鄰近解做為新解，若接受則取代成為現行解，檢查現行解是否達到停止條件，若無則再產生另一鄰近解，直到到達停止條件為止，則此求得的解為求解之近似解。Melouk et al.(2004)利用模擬退火法在不違反機器容量限制下，不斷的交換鄰近解以求解總完工時間最小化工件不一致之批次處理排程問題，經由實驗結果與公認最佳值比較，可以有效的求得近似解。

參、研究方法

一、問題描述與研究限制

本研究是在探討環境壓迫篩選製程工廠中工件大小不一致之批次機器排程問題，在此批次排程問題中，假設工廠內只有一條作業線，所有工件的加工都須經過該機器處理；同一時間內，批次中的所有工件被同時加工處理。當批次開始進行加工時，則不能有中斷之情形產生，也不能在加工處理時插入額外的工件進入批次中或是移除批次中的任何一個工件。

本研究之限制與假設可歸納如下：(1)所有的工件之間屬於獨立關係。(2)同一批次內的工件同時被加工處理，但是機器在同一時間只能處理一個批次。(3)各工件在機器中的加工時間為已知常數，機器和工件皆在時間為零時準備就緒。(4)各工件的大小為已知常數。(5)機器的容量為已知常數，批次的容量為彈性的，但批次中所有工件大小之總和不可超過機器的容量。(6)設定批次內加工時間最長之工件為該批次之處理時間。(7)在機器開始加工處理批次後，不可以在處理中之批次作插入新工件或抽離批次中之工件。(8)假設工廠內的機器不需要保養以及沒有故障維修問題。(9)不考慮機器的整備時間。

二、符號定義與數學規劃模式

以下為符號之定義：(1) j ：工件之編號。(2) i ：批次之編號。(3) J ：工件的集合。(4) I ：批次的集合。(5) P_j ：工件 j 的加工時間。(6) s_j ：工件 j 的大小。(7) P^i ：批次 i 的加工時間。(8) S ：機器的容量。

決策變數 A_{ji} 的定義為：

$$A_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{如果工件 } j \text{ 被指派到批次 } i \\ 0, & \text{如果工件 } j \text{ 未被指派到批次 } i \end{cases}$$

在目標函數為總完工時間最小化的情形下，工件大小不一致之批次機器排程問題數學規劃模式可分別表示如下：

$$\text{Minimize } C_{\max} = \sum_{i \in I} P^i \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in I} A_{ji} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} s_j A_{ji} \leq S \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$P^i \geq A_{ji} P_j \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (4)$$

$$A_{ji} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (5)$$

$$P^i \geq 0 \quad (6)$$

目標式(1)為總完工時間最小化之函式。限制式(2)表示工件 j 只會被指派到一個批次中。限制式(3)表示當工件被指派到一個批次中時，該批次之工件大小總和必不會超過機器之容量。限制式(4)表示決定批次 i 之加工處理時間。限制式(5)和(6)表示強制限制決策變數為二進制和批次 i 之加工處理時間必不為負數。

三、混合式模擬退火法

本研究利用混合式模擬退火法求解工件大小不一致之批次處理排程問題，以下將針對本研究之模擬退火法步驟做一詳細敘述。

(一)產生鄰近解之機制

為了提升模擬退火法之搜尋績效，故先以隨機方式挑選兩個批次，假設分別為批次 b 與批次 b' ，再判斷批次 b' 是否具有可以和另一批次之最大加工時間工件 j 交換之工件 k' ，其中工件 k' 為小於等於批次 b 中次大加工時間之工件 p ，若是做工件交換法，否則做工件

插入法。若挑選的兩個批次其中有任一批次內的總工件數小於兩個，則依下列情況做判斷產生鄰近解之機制：

- (1) 挑選的批次 b 與批次 b' 皆只有一個工件則做工件交換法。
- (2) 挑選的批次 b 與批次 b' 其中一個批次只有一個工件，另一個批次有兩個以上的工件。
 - I. 最大加工時間較小的批次若只有一個工件，另一個批次為兩個以上工件，則做工件插入法
 - II. 最大加工時間較小的批次若為兩個以上工件，另一個批次只有一個工件，則做工件交換法。
 - III. 若兩批次之最大加工時間相同則將次大加工時間做一相比。
 - 甲、次大加工時間較小的批次若只有一個工件，另一個批次為兩個以上工件，則做工件插入法
 - 乙、次大加工時間較小的批次若為兩個以上工件，另一個批次只有一個工件，則做工件交換法。

(二)工件交換法

先將兩批次 b 與 b' 由大到小排序，接著將兩批次的最大加工時間工件 j 與 j' 作相比，再依下列情況選擇欲交換之工件。

- (1) 若 j 之加工時間 $> j'$ 之加工時間，則將 j' 和批次 b 中的工件 k 交換，其中工件 k 之加工時間為小於等於批次 b' 中次大加工時間之工件。
- (2) 若 j 之加工時間 $< j'$ 之加工時間，則將 j 和批次 b' 中的工件 k' 交換，其中工件 k' 之加工時間為小於等於批次 b 中次大加工時間之工件。
- (3) 若 j 之加工時間 $= j'$ 之加工時間，則將兩批次的次大加工時間工件 p 與 p' 作相比。
 - i. 若 p 之加工時間 $> p'$ 之加工時間，則將批次 b' 和批次 b 中的工件 k 交換，其中工件 k 之加工時間為小於等於批次 b' 中次大加工時間之工件 p' 。
 - ii. 若 p 之加工時間 $< p'$ 之加工時間，則將批次 b 和批次 b' 中的工件 k' 交換，其中工件 k' 之加工時間為小於等於批次 b 中次大加工時間之工件 p 。

(三)工件插入法

先將兩批次 b 與 b' 由大到小排序，接著將兩批次的最大加工時間工件 j 與 j' 作相比，再依下列情況選擇欲插入之工件。

- (1) 若 j 之加工時間 $> j'$ 之加工時間，則將 j' 插入批次 b 。
- (2) 若 j 之加工時間 $< j'$ 之加工時間，則將 j 插入批次 b' 。
- (3) 若 j 之加工時間 $= j'$ 之加工時間，則將兩批次的次大加工時間工件 p 與 p' 作相比
 - i. 若 p 之加工時間 $\geq p'$ 之加工時間，則將 j' 插入批次 b 。
 - ii. 若 p 之加工時間 $< p'$ 之加工時間，則將 j 插入批次 b' 。

(四)超過機器容量批次之調整機制

由於本研究之限制條件為批次內所有工件大小之總和不可超過機器的容量，基於此項限制，經過工件交換法或工件插入法之後，修改之批次其工件大小總和有可能會超過機器容量限制。如果此種情況發生，必須加以調整以符合容量限制，調整之方式說明如下：

步驟一：檢查經過工件交換法或工件插入法之後的批次是否違反容量限制，若違反則視該批次為不可行解。

步驟二：假設違反容量的批次為 b ，將批次 b 做調整，計算其超過機器容量限制的值，並找尋其他批次容量尚未額滿且其可容納超過值的批次 b' 。將批次 b 和批次 b' 的工件依照工件大小分別由大到小作排序。在不可違反機器容量限制下，假設批次 b' 的最大加工時間為 t' ，找尋批次 b 中小於等於 t' 且最接近 t' 的工件插入批次 b' ，否則找尋大於且最接近 t' 的工件插入批次 b' ，若找不到符合之工件，則為批次 b 中工件加工時間最小的工件開啟一個新的批次。

步驟三：重複執行步驟二，直到批次 b 為可行解為止。

(五)降溫機制

本研究之模擬退火法流程圖如圖 1，其中 T_0 為模擬退火法制初始溫度， T_f 為模擬退火法制終止溫度， α 為控制降溫的比例， R 為同一溫度下執行的次數，接受較差解的機率 x 為 $\exp(C_{\max} - C'_{\max} / T)$ ， $C_{\max}$ 和 $C'_{\max}$ 分別為現行解總完工時間和鄰近解的總完工時間。在以上變數確定後，模擬退火法即經由下列步驟進行求解：

步驟一：設定初始溫度 T_0 、終止溫度 T_f 、同一溫度下執行次數 R 、控制降溫的比例 α ， $0 < \alpha < 1$ ，同時設定門檻值 T_a ， $0 < T_a < 1$ ，作為判斷鄰域產生方式之依據。另起始搜尋次數為 $u=0$ 、目前溫度為 T_0 。目前解為 S 、目前最佳解為 S^* 、目前最佳總完工時間為 $C_{\max}^*$ 。

步驟二：隨機產生初始解 S_0 ，且令 $S = S_0$ ， $S^* = S_0$ ， $C_{\max}^* = C_{\max}$ 。

步驟三：執行產生鄰近解之機制 $k' \leq p$ ，若是則現階段工作批次執行工件交換法以產生鄰近解；否則使用工件插入法產生鄰近解。令鄰近解為 S' 。鄰近解產生後，執行

超過機器容量批次之調整機制，確認經過鄰近解產生方式之兩個批次 b 和 b' 沒有違反機器容量之限制。調整結束後計算 $\Delta C = C'_{\max} - C_{\max}$ 。

步驟四：若 $\Delta C < 0$ 且 $C'_{\max} < C_{\max}^*$ ，則 $S^* = S'$ ， $S = S'$ ， $C_{\max}^* = C'_{\max}$ ；若 $\Delta C < 0$ 且 $C'_{\max} \geq C_{\max}^*$ ，則 $S = S'$ ， $C_{\max} = C'_{\max}$ 。 $u = u + 1$ ，回到步驟三。

步驟五：若 $\Delta C \geq 0$ ，隨機產生一亂數值 y ， $0 < y < 1$ ，並計算 $x = \exp(C_{\max} - C'_{\max} / T)$ 。當 $y \leq x$ 時，更新現階段解 $C'_{\max} = C_{\max}$ ，且 $S = S'$ ，否則不更新現階段解。 $u = u + 1$ ，回到步驟三。

步驟六：若 $u \geq R$ ，則降溫 $T = \alpha T$ 。若 $T > T_f$ ，則令 $u = 0$ ，回到步驟三；否則，搜尋結束。

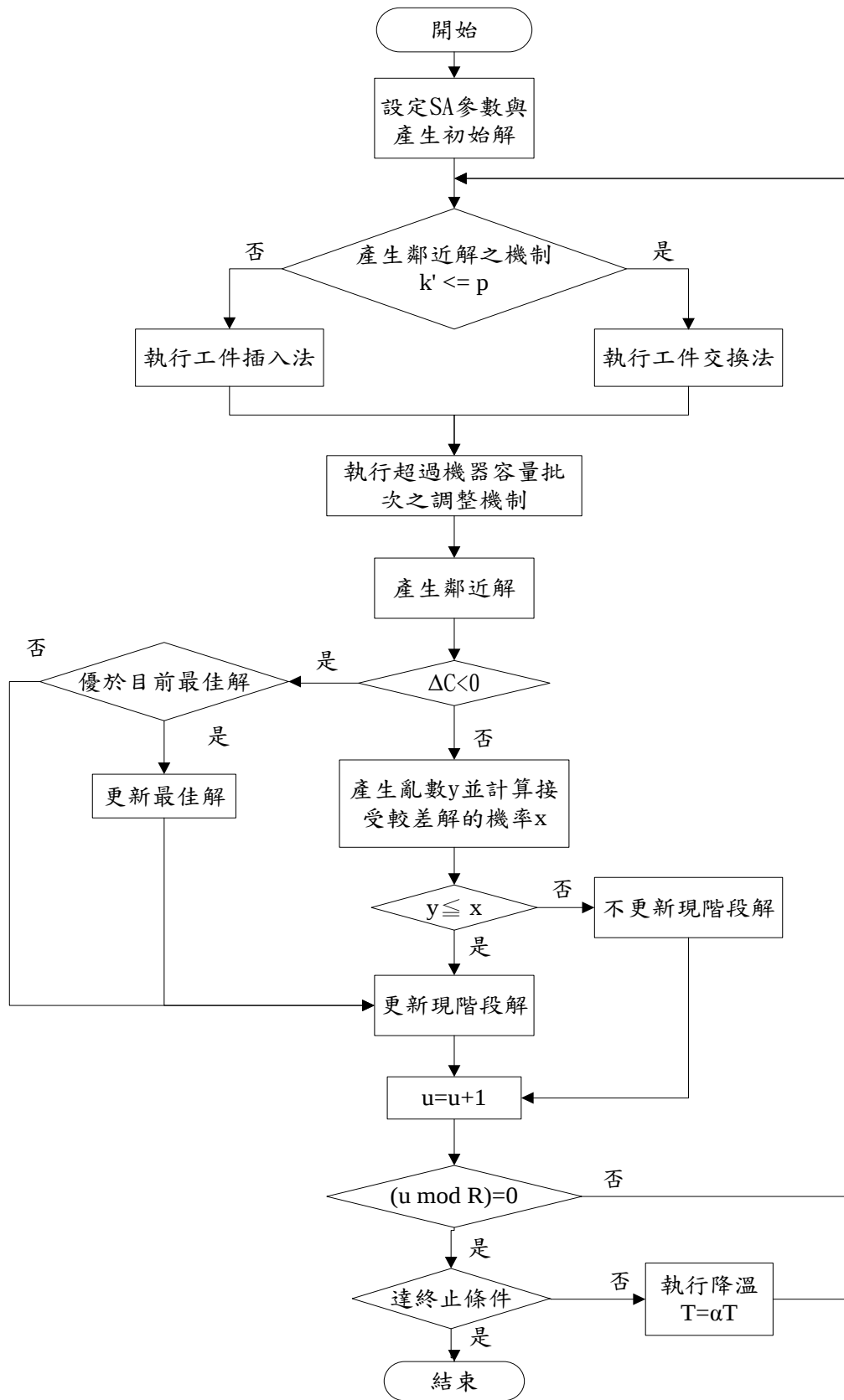


圖 1

肆、實驗結果

(一)實驗數據產生方式

本研究之問題和 Melouk et al.(2004)相同，如表 1 使用隨機亂數產生影響本研究的三個因素：

表 1

工件數(n)	10,20,50,100
工件的加工時間(P _j)	Uniform[1,10]、Uniform[1,20]
工件的大小(S _j)	混合大的和小的工件(Uniform[1,10])、小工件(Uniform[2,4])、大工件(Uniform[4,8])

(二)實驗參數設定

由於模擬退火法中有相當多的參數需要做調整，因本研究先使用 Melouk et al.(2004)文獻中已使用過之參數設定，測試其參數組合於本研究之限制環境下所呈現之效益。其參數設定如下：

起始溫度(T_0)：500

終止溫度(T_f)：0.1

降溫的比例(α)：0.9

每個溫度執行次數(R)：100(工件數10,20)、2000(工件數50,100)

(三)實驗結果與分析

本研究將使用第三章所提到之混合式模擬退火法，透過撰寫程式模擬不同設定以及不同工件於排程問題之求解績效，並在觀察總完工時間變化後使用表的方式呈現不同設定與方法之間的比較。本研究的混合式模擬退火法利用C++撰寫程式，並在Intel Core 2 Quad CPU Q6600 @2.4GHz CPU以及2G RAM的個人電腦環境下執行。

在機器容量限制為10的情況下，每種問題隨機產生10組不一樣的工件大小與加工時間，其分別使用混合式模擬退火法以及Melouk et al.(2004)提出的模擬退火法求解總完工時間最小化。如表2所示，混合式模擬退火法與Melouk et al.(2004)的模擬退火法比較有改善的次數、相同次數、未改善次數、平均 $C_{\max}$ 改善的量和改善比率，其中改善比率為 $(10\text{組模擬退火法 } C_{\max} - 10\text{組混合式模擬退火法 } C_{\max}) / 10\text{組混合式模擬退火法 } C_{\max} * 100\%$ 。在工件10與20之問題方面，使用本研究提出的演算法求解 $C_{\max}$ 能獲得有效的改善，改善率分別為3.3%~21.2%。

表 2

	較佳次數	相同次數	較差次數	平均 $C_{\max}$ 改善的量	改善比率
j1p1s1	10	0	0	-6.3	21.21%
j1p1s2	8	2	0	-3.3	16.42%
j1p1s3	5	5	0	-2	4.51%
j1p2s1	10	0	0	-12.8	17.02%
j1p2s2	8	1	1	-7	18.23%
j1p2s3	5	2	3	-3	3.36%
j2p1s1	10	0	0	-12.6	19.12%
j2p1s2	10	0	0	-7.2	19.30%
j2p1s3	9	1	0	-8.2	10.00%
j2p2s1	10	0	0	-17.4	13.48%
j2p2s2	10	0	0	-13.8	19.01%

如表3所示，在工件50與100之問題方面，使用本研究提出的演算法求解 $C_{\max}$ 能獲得有效的改善，改善率從0.5%~16.6%。

表3

	較佳次數	相同次數	較差次數	平均 $C_{\max}$ 改善的量	改善比率
j3p1s1	10	0	0	-8.7	13.86%
j3p1s2	10	0	0	-28.4	9.89%
j3p1s3	10	0	0	-10.7	13.83%
j3p2s1	10	0	0	-36.7	11.36%
j3p2s2	9	0	1	-9.4	5.06%
j3p2s3	10	0	0	-60.9	16.68%
j4p1s1	10	0	0	-35.5	9.68%
j4p1s2	8	1	1	-1.2	0.62%
j4p1s3	10	0	0	-49.1	12.39%
j4p2s1	10	0	0	-64.3	9.52%
j4p1s2	5	0	5	-1.8	0.50%
j4p2s3	10	0	0	-83.2	10.36%

伍、討論與結論

本研究提出混合式模擬退火法求解具有機器容量限制的工件大小不一致之批次處理排程問題。使用隨機的方式產生每個問題的 10 組例子測試不同問題的情況下混合式模擬退火法之有效性。經由數據結果顯示，混合式模擬退火法在各種問題的情況下皆有不錯的表現，其相較於模擬退火法更能有效的找到近似最佳解且在改善率方面最大改善達 21.2%，顯示混合式模擬退火法為效果佳之演算法。

參考文獻

- [1] 喻瀚寬(1997)，雙機流線型批次處理排程問題之工作總完工時間最小化，銘傳大學資訊管理研究所碩士論文。
- [2] Baker, (1974), *Introduction to sequencing and scheduling*. Wiley.
- [3] Cheng, T. C. E., Lin, B. M. T. and Toker, A., (1996), "Makespan minimization in the two-machine flowshop batch scheduling problem." *Technical Report*, 4, pp. 95-96.
- [4] Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L. W., (1967), *Theory of Scheduling*. Addison-Wesley.
- [5] Damodaran, P., Manjeshwar, P. and Srihari K., (2006), "Minimizing makespan on a batch processing machine with non-identical job sizes using genetic algorithms." *Int J Prod Econ*, 103(2), pp. 882–891.
- [6] Dupont, L. and Dhaenens-Flipo, C., (2002), "Minimizing the makespan on a batch processing machine with non-identical job sizes: an exact procedure." *Computers & Operations Research*, 29, pp. 807–819.
- [7] Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K. and Kan, A. H. G. Rinnooy, (1979), "Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling: a Survey." *Discrete Optimization II*, 5, pp. 287-326.
- [8] Ikura, Y. and Gimple, M., (1986), "Efficient Scheduling Algorithm for Single Batch Processing Machine." *Operation Research Letters*, 5(2), pp. 61-65.
- [9] Kashan, A.H., Karimi, B. and Jolai, F., (2006), "An effective hybrid multi-objective genetic algorithm for bi-criteria scheduling on a single batch processing machine with non-identical job sizes." *Int. J. Prod. Res.*, 44, pp. 2337-2360.
- [10] Kashan, A.H., Karimi, B. and Jolai, F., (2010), "An effective hybrid multi-objective genetic algorithm for bi-criteria scheduling on a single batch processing machine with non-identical job sizes." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(6), pp. 911-922.
- [11] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P., (1983), "Optimization by simulated annealing." *science*, 220(4598), pp. 671-680.
- [12] Lee, C. Y., Uzsoy, R., and Martin-Vega, L. A., (1992), "Efficient Algorithm for Scheduling Semiconductor Burn-in Operation." *Operation Research*, 40(4), pp. 764-775.
- [13] Melouk, S., Damodaran, P. and Chang, P. Y., (2004), "Minimizing makespan for single machine batch processing with non-identical job sizes using simulated annealing." *International Journal of Production Economics*, 87, pp. 141–147.
- [14] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. and Teller, E., (1953), "Equation of state calculations by fast computing machines." *The journal of chemical physics*, 21(6), pp. 1087.
- [15] Parunak, V. D., (1991), "Characterizing the manufacturing scheduling problem." *Journal of Manufacturing Systems*, 10(3), pp. 241-259.
- [16] Pinedo, M., (1995), *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice Hall, New Jersey.
- [17] Sung, C.S., Kim, Y.H. and Yoon, S.H., (2000), "A problem reduction and decomposition approach for scheduling for a flow-shop of batch processing machines." *European Journal of Operational Research*, 121, pp. 179–192.