

使用人工蜂群演算法解決 PCB 印刷電路板業的工作底片生產多目標排程問題

李維平

張鈞彥

張加憲

中原大學資訊管理學
系 教師

中原大學資訊管理學
系 研究生

中原大學資訊管理學
系 研究生

wplee@cycu.edu.tw

g9894629@cycu.edu.tw

gronze@cht.com.tw

摘要

群體智慧優異的求解能力，可用來解決生產多目標排程最佳化問題。印刷電路板生產過程，需有工作底片在工程製前的提供，才能使電路板在生產線上能曝光顯影出電路。而如何滿足工作底片最大產能，與生產出目前生產線最需要的底片的生產排程，本文提出了以人工蜂群演算法解決此多目標生產排程問題。實驗結果表示，用人工智慧的生產排程方式可達到生產排程最佳化的目的。

關鍵詞：群體智慧、多目標排程問題、人工蜂群演算法、排程最佳化

Abstract

Excellent ability of swarm intelligence can be used to solve multi-objective production scheduling optimization problems. Printed circuit board in the production process, the need front-end department provided the artwork, to make circuit boards in the production line to develop a circuit exposure. And how to satisfy the largest artwork production work, and produce the artwork production schedule for the current production lines are most in need. In this paper, We present to modify the artificial bee colony algorithm to solve this multi-objective production scheduling problems. The experimental results indicated that the production schedule by way of artificial intelligence can

achieve optimized production scheduling purposes.

Keywords: Swarm intelligence, Multi-objective scheduling problems, Artificial bee colony, Scheduling optimization

1. 前言

製造業的生產排程是常見的組合最佳化問題，而這種動態排程屬於複雜的 NP-hard 問題[11]。在 PCB 印刷電路板業中，電路板生產過程，需要工作底片的提供，方能曝光線路到電路板上。在過去的研究中均以電路板本身的生產排程為主[9,15]，但隨著產品近年來手機、NB 尺寸縮小，因此對於工作底片的生產要求趨高。電路板層層壓合，中間經過多道的製程，每個層次幾乎都需要使用工作底片。且在排程績效的目標為多目標考量下，因此工作底片常成為電路板生產的瓶頸。如何安排最佳化的底片生產排程，是 PCB 業亟欲解決的多目標派工排程問題。

在龐大運算動態排程需求的問題上，使用傳統求解方式十分的沒有效率。因此軟式計算求得可接受的最佳解為近年來熱門的研究方向[13]。而機台又因加工能力的差異，可分為不同的種類，要考慮的因素也隨之不同[2]。

群體智慧是生物的群體智能行為。這種仿生優化的演算法原理，用來解決組合最佳化的 NP-hard 派工問題再恰當也不過。因為複雜的組合問題、多目標排程問題等，在群

體智慧的演算法下，運用較短的運算時間即可找到近似最佳化的解[1,4,10,12-14,16]。鑑於此，此類智能、演化的運算方法常被使用在生產排程最佳化的複雜派工問題求解上[13]。

人工蜂群演算法中，蜜蜂群體智慧的覓食行為，表現於蜜蜂之間透過舞蹈溝通，傳遞收益度比較高的食物源位置。而接收到訊息的同伴會到這些位置的鄰近點，繼續找尋開採新的食物源，最後找到最豐富的花蜜。這種生物間社會化的行為，看似簡單。卻能解決複雜的組合爆炸函數問題、最佳化問題等[3,6-8]。因此，本文提出以人工蜂群演算法，來解決 PCB 印刷電路板業的工作底片多目標生產排程問題。

2. 問題描述

PCB 印刷電路板業工作底片的製作需求來源，主要為 Sample 底片需求、ECO(Engineering Change Order)底片需求、待底片生產需求、特殊的委工需求、量產需求等。來源眾多，造成排程管理不易的嚴重問題。

Sample 指的是首次生產該電路板產品，因此初始時沒有任何工作底片。此時工程製前部門內的底片生產單位，就要負責生產提供電路板加工所需的工作底片。ECO (Engineering Change Order)是廠內變更生產參數或客戶要求變更規格，因此工作底片需重新製作與提供。待底片生產則是電路板已經到需要曝光的製程，卻無工作底片可用時的需求。而特殊委工是底片有生產週期限制，也就是電路板上要印上生產日期，所以工作底片需要定期更換。或是為了效率使用平行機台曝光生產等。量產底片需求，指的是量產時，電路板需要的工作底片要多套才能滿足生產曝光使用，而目前工作底片庫存不足以提供曝光的情形。

在電路板生產的過程中，不斷的產生工作底片的需求。而底片生產單位常為此無法掌握排程，在底片製作產能是固定的情況下，因此需要最佳化的工作底片生產排程安排。

3. 人工蜂群演算法

3.1 演算法簡介

人工蜂群演算法是基於蜜蜂覓食的群體智慧採蜜行為而來[5]。蜂群內有工蜂、觀察蜂、偵查蜂等。工蜂負責對每個食物源的附近進行開發，然後到跳舞區以跳舞傳達食物源的收益訊息。觀察蜂在觀察食物收益度的訊息後，以輪盤法選擇一個食物源，到食物源的鄰近周遭進行開發的行為。在食物源經過一定的開發次數，而食物源的收益度沒有改善時，工蜂會放棄此食物成為偵查蜂，隨機的探索一個新的食物源。

NP-hard 的派工問題應用上[13]。人工蜂群演算法，可將工業上生產排程的困難多級多機多產品調度，與複雜的作業順序安排，找到最佳的參數設定值。而工業用複合材料的設計[16]，文獻中提出以向量評估人工蜂群演算法(VEABC)，找出最輕重量及強度評估與最低成本的工業複合材料搭配，解決複合材料的多目標最佳化問題。且在與粒子群最佳化(PSO)、人工免疫系統(AIS)、和基因演算法(GA)等做效能比較時，能得到較好的效果。

人工蜂群演算法的主要步驟如下：

Step1: 送出偵查蜂初始化食物源

Step2: 更新所有食物源收益度

Step3: 工蜂移動到與工蜂數目相同的食物源附近並確定收益度

Step4: 觀察蜂以輪盤法選定食物源且移動到鄰近位置

Step5: 停止開採收益度未改善的食物源

Step6: 以偵查蜂隨機探索新食物源

Step7: 記憶目前為止收益度最高的食物源

Step8: 循環（直到停止條件）

觀察蜂使用輪盤法來選擇食物源。當食物源的收益度越高，被選擇到的機會也越大(1)：

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{sn} fit_n} \quad (1)$$

P_i 是第 i 個食物源被選擇的機率， f_{it} 為第 i 個食物源的適應值， sn 為食物源的數目=工蜂數。

觀察蜂在舞蹈區看完工蜂的搖擺舞後，選擇一食物源並在鄰近地點進行搜索，搜索的移動公式與工蜂開採的移動方式相同，表示如下(2)：

$$v_{ij} = x_{ij} + R_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (2)$$

v_{ij} 是第 i 個食物源的第 j 個維度， k 為隨機選擇的另一個食物源。 $R(-1,1)$ 為隨機數。

食物源的收益度在經過 $limit$ 這個參數值的迭代數未改善時，工蜂會放棄此食物源而成為偵查蜂，用隨機的方式去尋找一個新的食物源的位置(3)：

$$x_i^j = x_{\min}^j + rand(0,1)(x_{\max}^j - x_{\min}^j) \quad (3)$$

x_i 是要放棄的食物源， j 是指維度， \max 與 \min 為解的上下限的值域限制。

3.2 多目標生產排程問題

工作底片生產排程最佳化前，首先我們先定義必要條件。假設工作底片生產工時與產能，為兩小時 60 張。而工作底片需求因電路板生產過程不斷的發生變化，所以為兩小時進行一次排程。在這兩小時的生產排程所要求的目標應有兩個。1. 盡量填滿產能，使機台稼動率最高(2 小時/60 張) 2. 生產出的工作底片為目前電路板生產過程所急需的。

電路板在客戶下單時，會有所謂的交貨日期。因此交貨日期所剩越短，代表生產壓力越大，必須更快的交貨。各個不同的訂單同時在生產線上生產，雖然某筆訂單的交期快到了，但到需要工作底片曝光的製程時間前後不同。因此需要將兩者綜合起來考量。賦予一數值 p 來區分此工作底片需求的優先程度，也就是此工作底片生產需求的價值。

因此多目標排程問題函式表示為(4)(5)：

$$f_1(x) = \begin{cases} f_1(x) = \sum_{i=1}^D s_i x_i \\ f_1(x) \leq 60 \end{cases} \quad (4)$$

$s(1,2,3,\dots,N)$ 為該料號底片需求張數(N 為正整數)， $x(0,1)$ 為該料號底片需求，也就是 lb 與 ub 上下限為 $(0,1)$ ， D 為最大需求數。

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^D p_i x_i \quad (5)$$

p 指需求的優先程度，也就是這個需求的生產價值。

目標為：

1. 求得最大的 $f_1(x)$ ，且 $f_1(x) \leq 60$
2. 求得最大的 $f_2(x)$

因為生產線的狀態不停的變化，所以需求(D)是變動的。每次排程中的需求會隨著情況改變。可能的組合也千變萬化。而最佳化的生產排程目標是將每一次的排程；讓工作底片產能與價值最高。

工作底片需求在佇列中等待排程時，可能的狀況有兩種。一種為被選入排程中製作。否則在佇列中繼續等待。因此 x 值的範圍為 $(0,1)$ 。也就是製作或不製作。以著名的背包問題為例，即為選擇價值較高的物品放入背包，且在限制的重量內。

3.3 人工蜂群演算法設計

蜜蜂找尋收益度較高的食物源的群體智慧，用於仿生優化演算法可解決多目標的生產排程問題[13-14,16]。而蜜蜂在採蜜探索與開發的群體智慧表現，為最佳化問題的求解方式。本研究提出以人工蜂群演算法，設計找出最佳化的多目標生產排程解。

對於多目標問題以人工蜂群演算法的處理設計上。在這裡是將多目標問題簡化為單目標問題。標準的人工蜂群演算法流程中，每次找到新的排列組合解時，會以此解集合去計算欲求解函式的值。然後將計算過後的值，代入求得食物源的收益度。以花蜜的豐富度也就是收益度；判斷是否為較好的最佳解。本研究將人工蜂群演算法標準版本中，每次以解集合去代入計算一個函式的值，修改為計算兩個目標函式。將這兩個函式的值算出後，相加再去計算此解所得到的收益度。

修改演算法內容：

第一步 將原本的人工蜂群演算法，取該維度新的值之公式，加入判斷。如果取得的值大於 0.5 則等於 1，小於則等於 0。

第二步 計算收益度時，原本為代入目前解求得函數值。因函數增加一個，所以改為求得的兩個函數的值相加，然後代入計算取得收益度。

第三步 記憶最佳收益度，將原本的比較目前食物源收益度大於全域最佳解的部分，加上目標函數的限制。

4.實驗

參數設定，SN 為需求數，維度 $D = SN$ 。蜜蜂總數為 50。Limit 值為 150，演化迭代數設定為 10000，實驗進行重複 50 次。

本文將以表 1 進行實驗測試：

表 1

張數(s)	1	3	5	7
生產價值(p)	50	20	45	65

9	2	4	6	8	10
95	55	15	75	90	70

1	3	5	7	9	2	4
85	65	25	15	65	85	65

6	8	3	5	7	9	2
20	10	90	25	30	45	65

5	6
15	5

表 2 為實驗結果：

表 2

目標一 / 張數(s)	最佳結果 60
目標二 / 生產價值 (p)	最佳結果 810

s 為每筆工作底片需求的張數，p 為該筆需求的生產價值。實驗結果(表 2)使用人工蜂群演算法可求得最接近 60 張與最大價值 810 的近似最佳解。以表 1 將可得到 $f1(x)$ 的近似最佳解為 60， $f2(x)$ 的近似最佳解為 810。且將其中一筆需求的生產價值(p)調低，經過最

佳化的計算，此需求被選中的機會極低。證實演算法可解決此多目標排程問題。

5.結論

人工蜂群演算法用於多目標的排程問題，經實驗證實的確因為參數少、收斂快。適合真實世界的案例使用。而多目標排程問題尚有許多種類，複雜度更高。目前人工蜂群演算法，主要應用仍以單一目標問題優化為主。本文提出多目標排程問題以人工蜂群演算法優化計算，仍有其他更複雜的排程應用問題值得後續研究。

參考文獻

- [1] 康飛(Fei Kang), 李俊傑(Jun-Jie Li) and 許青(Qing Xu), "混合蜂群算法及其在混凝土壩動力材料參數反演中的應用," *水利學報*, 2009.
- [2] A. Allahverdi and J. Mittenthal, "Scheduling on a two-machine flowshop subject to random breakdowns with a makespan objective function," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 81, pp. 376-387, 3/2, 1995.
- [3] B. Akay and D. Karaboga, "A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization," *Inf. Sci.*, vol. In Press, Uncorrected Proof.
- [4] C. Xu, H. Duan and F. Liu, "Chaotic artificial bee colony approach to Uninhabited Combat Air Vehicle (UCAV) path planning," *Aerospace Science and Technology*, vol. In Press, Corrected Proof.
- [5] D. Karaboga, **An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization**, Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005.
- [6] D. Karaboga, B. Basturk, **A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm**, *Journal of Global Optimization* 39 (2007) 171-459.
- [7] D. Karaboga and B. Basturk, "On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 8, pp. 687-697, 1, 2008.
- [8] D. Karaboga and B. Akay, "A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm,"

- Applied Mathematics and Computation*, vol. 214, pp. 108-132, 8/1, 2009.
- [9] F. Lin, M. J. Shaw and A. Locascio, "Scheduling printed circuit board production systems using the two-level scheduling approach," *J. Manuf. Syst.*, vol. 16, pp. 129-149, 1997.
- [10] F. S. Abu-Mouti and M. E. El-Hawary, "Modified artificial bee colony algorithm for optimal distributed generation sizing and allocation in distribution systems," in *Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 2009 IEEE*, 2009, pp. 1-9.
- [11] J. K. Lenstra, A. H. G. Rinnooy Kan and P. Brucker, "Complexity of machine scheduling problems," in *Annals of Discrete Mathematics*, P.L. Hammer, E.L. Johnson, B.H. Korte and G.L. Nemhauser, Ed. Elsevier, 1977, pp. 343-362.
- [12] N. Karaboga, "A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 346, pp. 328-348, 5, 2009.
- [13] P. Pansuwan, N. Rukwong and P. Pongcharoen, "Identifying optimum artificial bee colony (ABC) algorithm's parameters for scheduling the manufacture and assembly of complex products," in *Computer and Network Technology (ICCNT), 2010 Second International Conference on*, 2010, pp. 339-343.
- [14] Q. Pan, M. Fatih Tasgetiren, P. N. Suganthan and T. J. Chua, "A discrete artificial bee colony algorithm for the lot-streaming flow shop scheduling problem," *Inf. Sci.*, vol. In Press, Corrected Proof.
- [15] R. Meenakshi Sundaram and C. Yu, "A scheduling strategy in the manufacture of printed circuit boards (PCBs) using Surface Mount Technology (SMT)," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 19, pp. 47-52, 1990.
- [16] S. N. Omkar, J. Senthilnath, R. Khandelwal, G. Narayana Naik and S. Gopalakrishnan, "Artificial Bee Colony (ABC) for multi-objective design optimization of composite structures," *Applied Soft Computing*, vol. In Press, Corrected Proof.