

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

應用資料探勘技術提升巨集式螞蟻演算法求解印刷電路板
插、取件作業效率之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-216-005-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學科技管理學系(所)

計畫主持人：賀力行

計畫參與人員：莊振家、江昶翰、徐慧雯

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 24 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

應用資料探勘技術提升巨集式螞蟻演算法求解印刷電路板
插、取件作業效率之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2213-E-216-005

執行期間：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：賀力行

共同主持人：

計畫參與人員：莊振家

江昶翰

徐慧雯

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學科技管理研究所

中華民國95年10月23日

中文摘要

過去PCB自動化組裝作業最佳化演算法方面，大部分學者多將元件在PCB上的安裝順序轉換為旅行推銷員問題（Transportation Salesman Problems, TSP）求解，而將元件在零件槽中的配置問題歸類於二次指派問題（Quadratic Assignment Problem, QAP），以兩階段方式輪流求解，但在求解過程中所搜尋出之眾多可行解中所隱藏的訊息，如最佳組裝順序搜尋方向、較適合(或不適合)配置相近之元件組合、與PCB自動化組裝決策搜尋方向等資訊多被忽略，因此本研究設計巨集啟發式螞蟻演算法(Meta-Heuristics Ant Colony Optimization, IMACO) 整合資料探勘技術(Data Mining Techniques)，發展印刷電路板自動化組裝決策系統，輔助管理者進行印刷電路板整體插、取件作業較佳決策與設定，即各元件在零件槽中的較適配置位置、插件順序，以及取件順序等問題，增進印刷電路板自動化組裝決策系統的效率與品質。

模式績效測試方面，由於過去文獻中使用之例題皆未標示出完整的題目，且關於PCB自動化插取件作業方面之問題並無標準題庫可供利用，因此本研究利用國際標準TSP題庫(TSPLIB95)中問題規模約300個節點的問題5題，轉換產生15題具有標竿解之PCB自動化插取件作業問題進行模式測試、分析與評估，藉以了解本研究提出之求解架構之實用性與求解效率。測試結果顯示應用橫向排列原盤型零件槽之PCB機型，求解問題規模平均為39種不同元件，PCB上安裝295個元件之問題，平均在4316秒內可搜尋出與標竿解間平均差異僅1.27%的近似最佳解，最大差異亦不超過2.44%，期望本研究成果對於印刷電路版自動化組裝系統與業者而言，應該具有重要的參考價值。

關鍵詞：印刷電路板插取件作業、螞蟻演算法、資料探勘

Abstract

This study we propose an Meta-heuristics ACO method first, call it MACO, which consider rotary head moving time, feeder moving time, and PCB moving time together to develop and integrated approach of PCB automation fabricating components system to solved the optimal insertion sequence and the optimal setting of the components in the feeders. Then application outlier analysis method, cluster analysis method, and association analysis method, etc. which among data mining techniques of MACO. To implement the heterogeneity data cleaning, data selection, and recessive information mining aim at all properties of components to estimating the effectively of solution quality and efficiency.

At last, we propose a standard transform procedure to change the TSP problem with optimal solution to PCB problem with the same or similar optimal solution. We succeed in producing 15 PCB problems which average have 39 type components and 295 components need to insert to PCB, offered to MACO Method proceeding with estimate performance. Testing result shows MACO can be found and differed by 1.27% of the Solution with optimal solution within 4316 seconds on average.

Keywords : insertion sequence problems, feeder positioning problems, Ant Colony Optimization, Data Mining Techniques

1. 前言

在PCB上元件自動化組裝作業最佳化演算法方面，大部分學者多將元件在PCB上的安裝順序轉換為旅行推銷員問題(Transportation Salesman Problems, TSP)求解，而將元件在零件槽中的配置問題歸類於二次指派問題(Quadratic Assignment Problem, QAP)，以兩階段方式輪流求解。但眾所周知TSP屬於NP-hard問題，當決策變數過大時將無法於合理的時間內求到精確解，因此，國內外亦有多數學者探討TSP及QAP混合全域搜尋技術之近似解演算法，求解PCB上元件組裝作業最佳化問題。近年來模擬生物行為所發展的螞蟻演算法(Ant Colony Optimization, ACO)在求解的過程中，是利用多點搜尋方式跳脫區域解機制，相較於其他巨集啟發式方法，在多數研究領域中皆有較優的求解效率與品質【3,4】。因此，本研究應用ACO為演算法搜尋架構基礎，建立一個同時考慮元件在PCB上的安裝順序，與在零件槽中配置問題的整合型組裝作業模式。

在求解過程中所出現過的眾多可行解數據，例如完成一片PCB的總組裝時間或總移動距離，就僅止於暫時紀錄於資料庫中做為後續可行解的比對資料，其中所隱藏的資訊，如PCB上元件插件順序中，造成總移動距離或時間驟增的異常點、各式不同元件間的取件順序關聯性，與各元件於PCB上分布的叢集性等資訊則多被忽略，以至於當安裝的元件數量與種類較大時，求解過程將更加繁複攏長，沒有效率，甚至可能重複出現相同的可行解卻不易察覺。

因此，本研究將近年所發展的針對大量資料處理與分析的技術，資料庫內知識發現(Knowledge discovery in database, KDD)，配合應用於ACO演算法中，發展印刷電路板自動化組裝決策系統。該決策系統利用KDD可以在為數眾多的資料當中探勘出不明確的、未知的以及潛在的資訊後去蕪存菁並找到對我們有用的資訊的功能，分析與利用在求解過程中所出現過之眾多可行解中所隱藏的訊息，導引ACO演算法搜尋空間，增進演算法求解效率與品質。

績效測試方面，由於過去文獻中使用之例題皆未標示出完整的題目，且關於PCB自動化插取件作業方面之問題並無標準題庫可供利用，因此本研究利用國際標準TSP題庫(TSPLIB95)中問題規模約300個節點的問題5題，轉換產生15題具有標竿解之PCB自動化插取件作業問題進行模式測試、分析與評估，藉以了解本研究提出之求解架構之實用性與求解效率。

測試結果顯示應用橫向排列原盤型零件槽之PCB機型，求解問題規模平均為39種不同元件，PCB上安裝295個元件之問題，平均在4316秒內可搜尋出與標竿解間平均差異僅1.27%的近似最佳解，最大差異亦不超過2.44%，期望本研究成果對於印刷電路版自動化組裝系統與業者而言，應該具有重要的參考價值。

2. 文獻回顧

本研究目的為利用改良式螞蟻演算法配合資料探勘技術設計印刷電路板自動化組裝決策系統，文獻回顧部份首先對PCB作業機台與PCB插取件自動化組裝作業應用的演算法進行簡短分析與探討，接著針對螞蟻演算法與資料探勘技術做簡單的介紹，相關發展現況、應用成果，與詳細作業方式則請參考各作者原著文章。

2.1 PCB插、取件作業機台

本研究回顧過去PCB組裝作業自動化插、取件研究所應用的模式，可區分為兩種型態，分別為固定插、取件點安裝模式(Fixed Pick-and Place Points Method, FPP)與不固定插、取件點安裝模式(Dynamic Pick-and Place Method, DPP)【24】。

目前業界所使用的機組模型多數為FPP，但機型卻有許多種，依機組設備不同的特徵與功能可組合出各式不同外觀、功能與效能的機台設備【9,11,14,17,19】，就賀力行等【24,25,26,27】研究中所探討的結果顯示，各類型機種仍存在部分幾何形狀缺失，因此，本研究延續使用賀力行等研究中所設計之橫向排列圓盤型零件槽、配合原盤型機器手臂機型進行PCB自動化組裝作業最佳化研究。

2.2 PCB 元件自動化組裝模式演算法回顧

在PCB 上元件自動化組裝作業最佳化演算法方面，大部分學者多將元件在印刷電路板上的安裝順序轉換為TSP，而將元件在零件槽上位置配置問題歸類於QAP 輪流求解。眾所皆知TSP 是一個離散、非線性及非凸型整數規劃問題，屬於NP-hard 問題，無法在有效的時間內求得精確解，因此，在有限的資源限制下，如何同時兼顧求解的品質及其效率，往往是在求解時重要的考量因素。目前業界實際所面臨到的問題，通常PCB 上所需安裝的元件種類與數量過大時，很難於合理的時間內求到精確解，因此，一個有效的啟發式演算法，對於輪流求解安裝順序與配置問題將有很大的助益【9,11,12,13,14,15,17,19,24,27,32】。

近年來，許多屬於NP_hard 問題皆已朝向巨集啟發式方法的方向發展，原因在於巨集啟發式方法之概念是以傳統啟發式方法為基礎，並利用巨集策略機制來引導傳統啟發式方法的搜尋過程，較能夠跳脫求解過程陷入局部最佳解的困境，改善傳統啟發式方法的缺點。這些巨集策略機制多來自於人工智慧、生物學與物理化學等領域【32】。較著名的巨集啟發式方法有禁制搜尋法、模擬鍛鍊法、基因演算法、門檻接受法及螞蟻演算法等，且國內外亦已存在大量探討探討TSP 及QAP 近似解混合式演算法與上述數種巨集啟發式搜尋技術的文獻，而其中螞蟻演算法相較於其他演算法在多數研究領域中皆有較優的求解效率與品質，因此，本研究擬應用螞蟻演算法於PCB 元件自動化組裝模式問題中演算法的設計，期望能有效改進求解的效率與品質。

2.3 螞蟻演算法【2,3,4,5,18,31】

ACO 法旨在模仿螞蟻覓食的行為，並且利用螞蟻群體合作的原理來求解問題，期獲得最佳決策之搜尋技術。最初是由 Macro Dorigo 於 1992 年所提出，當時稱該演算法為螞蟻系統(Ant System,AS)，直到 1999 年 Dorigo M.、Caro D.及 Gambardella 將此演算法的精神延伸到求解非連續式最佳化問題上，是求解最佳化問題的巨集啟發式方法。近十五年來，隨著對上述各機制執行細節的設計不同，已有許多種改良式螞蟻演算法陸續被提出，較著名的有：Ant System (AS) (Dorigo, 1991, 1992, 1996)，Ant Colony System (ACS) (Dorigo, 1997; Gambardella, 1996)、Ant-Q (Gambardella, 1995; Watkins, 1992)、Max-Min Ant System (MMAS) (Stützle, 1997, 1998, 1999) 與 Rank-Based Version of Ant System (AS_{rank}) (Bullnheimer, 1999)；這些改良的方法也被統稱為螞蟻群落最佳化(Ant Colony Optimization, ACO)方法(Dorigo,1999)。

2.4 資料探勘

近年電子化作業與資料庫技術蓬勃發展，造成各企業所儲存的資訊量日趨龐大超載，然而多數資料無結構化的特性，使得企業決策單位無法有效利用這些收集來的資料，甚至於使決策行為因為無正確資訊可供參考而產生混亂與誤用。因此資料庫內知識發現(Knowledge discovery in database, KDD) 議題隨之興起，其目的在為數眾多的資料當中探勘出不明確的、未知的以及潛在的資訊，去蕪存菁後找到對我們有用的資訊，亦即是一種知識發現的過程。目前已被許多研究人員視為結合資料庫系統與機器學習技術的重要領域，許多產業界人士也認為此領域

是一項增加各企業潛能的重要指標，目前已被廣泛的應用在各種不同的領域當中且有相當良好的成效【1,8,12,13,16,29,31】。

3. 研究方法

本研究設計巨集啟發式螞蟻演算法(MACO)整合KDD技術，發展PCB自動化組裝決策系統，輔助管理者進行印刷電路板整體插、取件作業較佳決策與設定，即各元件在零件槽中的較適配置位置、插件順序，以及取件順序等問題，增進印刷電路板自動化組裝決策系統的效率與品質。

研究中首先分析PCB上各元件需安插位置的分布狀況將元件分群，再依群落關係計算各元件間的相關性，同時建立「元件間相關性資料表」，作為配置各元件至元件槽位置的依據。當各元件在元件槽中配置位置固定後，即配合利用螞蟻演算法搜尋適合目前元件槽的PCB插件順序，接著分析插件順序中各元件間相關性的變化，更新「元件間相關性資料表」與元件槽中元件配置位置，以提升整體PCB插取件組裝作業的績效。

3.1 元件分群與配置作業

良好的元件配置是提升整體作業績效的關鍵之一，本研究使用 K-means 分群法【6,7,10】，分析 PCB 上各元件需安插位置的分布狀況並將元件分群，然後再依群落關係，與各元件在 PCB 上需安裝位置間相距的距離，亦即機械手臂須移動的距離離，計算元件間的相關性，同時建立「元件間相關性資料表」，作為配置各元件至元件槽位置的依據。

元件在零件槽中的起始配置位置則是依照「元件間相關性資料表」中相關性從高至低，依序以逆時鐘方向配置於零件槽中【25,26,27】。元件間相關性資料表建立方式則依各元件在 PCB 上需安裝位置間相距的距離，亦即機械手臂須移動的距離離計算元件間的相關性，移動距離愈短且元件數量愈多者，相關性愈高；再者若分屬於相同群落時，元件間的相關性亦需相對提升。研究中以公式(1)計算任兩種類型元件(C_a 與 C_b)間的相關性($C_{a,b}$)，其中 C_a 表示屬於元件類型編號 a 的元件； C_b 則表示為元件類型編號 b 的元件，另外式中 $|C_a|$ 表示編號 a 元件在 PCB 上需安裝的數量； C_i^a 表示第 i 個編號 a 的元件； $d_{i,j}$ 表示元件 i 與元件 j 間的移動距離；而 d_{\max} 則為一常數參數值，控制當兩元件間相距位置過長時可忽略不計。

$$C_{a,b} = \sum_{i=1}^{|C_a|} \sum_{j=1}^{|C_b|} \frac{1}{(d_{c_i^a, c_j^b} + v_{c_i^a, c_j^b})}, \text{其中 } d_{c_i^a, c_j^b} = \begin{cases} d_{c_i^a, c_j^b}, & \text{當 } d_{c_i^a, c_j^b} < d_{\max} \\ \infty, & \text{當 } d_{c_i^a, c_j^b} \geq d_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

$$v_{c_i^a, c_j^b} = \begin{cases} d_{c_i^a, c_j^b}, & \text{當 } c_i^a \text{ 與 } c_j^b \text{ 分屬同一群落時} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

3.2 PCB 插件順序啟發式演算法

研究中利用 AS 演算法作為 PCB 插件作業的主架構，並結合「元件間相關性資料表」以找到更佳的整體 PCB 插取件組裝作業的最佳策略。

3.2.1 機械手臂插取件移動距離

自動化 PCB 組裝系統完成一片 PCB 的移動距離（成本）計算方式，可以分為三階段，分別為(1)機械手臂抓取前 8 個元件的移動距離($i \leq 8$)，此時期僅執行取件作業，此時不需考慮 PCB 移動距離；(2)同時執行插件與取件作業，此時須同時考慮零件槽、機械手臂與 PCB 的移動距離；與(3)進行 PCB 上最後 8 個插件作業時($(n-8) < j \leq n$)，僅執行 PCB 上元件組裝作業，此時則不需考慮元件槽移動距離【25,26,27】。

3.2.2 巨集啟發式螞蟻系統演算法

AS 演算法應用於橫向零件槽之 PCB 插入件作業時，演算法執行步驟如下所示，由於機械手臂需抓取與安裝的元件必須同時到達固定位置，方可進行插、取作業，移動距離需同時考慮 PCB 與元件槽的移動距離，因此意念函數參數值需調整如式(2)所示。式中 FM_i 表示零件槽移動第 i 個元件至待抓取位置的移動距離； R 為機械手臂旋轉兩相鄰抓頭的移動距離； PM_i 為 PCB 移動第 i 個元件至待安裝位置的移動距離； VF 表示零件槽移動速率； VR 表示機械手臂旋轉速率； VP 表示 PCB 移動速率；而 IT 為完成一個元件插件(或取件)的作業時間。

步驟 1：參數值初值設定

步驟 2：重複步驟 2 直到所有螞蟻皆完成各自的完整的可行路線

2-1：螞蟻 k 構建一條完整的可行路線 $t(k)$

2-2：利用可行路線 $t(k)$ 進行路徑費洛蒙濃度即時更新作業

步驟 3：進行路徑費洛蒙濃度全域更新作業

步驟 4：反覆回合數累計一次。若滿足停止條件，則書出最佳解；若否，則回到步驟 2

$$\eta = \begin{cases} 1/\text{Max}\left\{\frac{FM_i}{VF}, \frac{R}{VR}\right\} & , i \leq 8 \\ 1/\text{Max}\left\{\frac{FM_i}{VF}, \frac{R}{VR}, \frac{PM_{j-8}}{VP}\right\} & , i = j+8, j = 1 \sim (n-8) \\ 1/\text{Max}\left\{\frac{R}{VR}, \frac{PM_j}{VP}\right\} & , j = (n-8) \sim n \end{cases} \quad (2)$$

AS 演算法可採用任何有效率的起始解演算法，本研究採用 1977 年 Rosenkrant, Stearns 及 Lewis 所提出最近鄰點法 (Nearest-neighbor algorithm) 做為步驟 2-1 中螞蟻搜尋可行路徑的演算基礎。在路徑改善法方面，為降低配合 2-opt 或 3-opt 交換法求解較大規模問題時求解時間將大幅增加的缺失，研究中配合應用鄰近點名單(Neighborhood List)與候選名單(Candidate List)技術(Bentley, 1992, 1994)，減少大量無效的搜尋作業，降低改善法執行時間，與增進區域搜尋演算法執行效率，避免累積過多錯誤的可行解資訊，並提升可行解的品質。

3.3 整體組裝步驟較佳化分析作業

整體組裝策略較佳化分析主要目地在分析目前可行組裝策略中所隱藏的訊息，包括 PCB 上元件插件順序中，造成總移動距離或時間驟增的異常點、不同元件間插件與取件順序間的關聯性，更新「元件間相關性資料表」，作為改善各元件在元件槽位置的依據，進而增進印刷電路板自動化組裝決策系統的效率與品質。因此整體組裝策略較佳化分析作業可區分為兩部份。

一、分析 PCB 上元件插件順序中可減少的作業時間：究首先分析 PCB 插件順序中移動時間產生的原因，若該移動時間為零件槽移動所造成，則記錄該組裝路段相連結之兩種元件，後續稱之為元件組，並紀錄於集合 S 中，作為後續增加元件間相關性的參考資訊；若是由 PCB 移動所造成，則移動該組裝路段相連結之兩元件的組裝順序，搜尋較適合的組裝順序以縮短整體組裝作業所需的移動時間。

二、分析元件間插件與取件順序間的關聯性以改善元件在元件槽中配置位置：該階段分析 PCB 插件順序中各元件間的相關性，並配合前述集合 S 中所記錄需增加相關性的元件組合，更新「元件間相關性資料表」與各元件在元件槽中的位置。PCB 插件順序中各元件間相關性的分析方式，為依據 PCB 安裝順序與整體組裝成本作為基礎，各元件間相關性增加方式如下列步驟

所示。當「元件間相關性資料表」更新完成後，即以此為依據完成各元件在元件槽中位置重新配置的作業。

步驟 1：參數設定($i=0, j=0$)

步驟 2：PCB 中所安裝的第 $i+1$ 個元件，若 $i+1=n$ 則結束，若否，則 $i=i+1$

步驟 3： $j=j+1$ ，若 $j=k$ ，則回步驟 2，若 $C_{i+j}=C_i$ 則反覆步驟 3

步驟 4：若 S 包含 C_{i+j} 與 C_i 元件組，則 C_{i+j} 與 C_i 間相關性增加 $1/(\Delta+1)$ 後返回步驟 2，若否，則相關性增加 $1/\Delta$ 後返回步驟 2

4. 實驗設計與問題測試

鑒於過去學者使用之例題多未標示出完整的題目【2,4,21,23,30】，且關於印刷電路板插入件作業方面之研究並無題庫可供利用，因此本研究設計一轉換作業，並利用國際標準 TSP 題庫，轉換為具有標竿解之 PCB 例題進行測試。

4.1 建立測試例題

本研究利用國際標準 TSP 題庫 TSPLIB (<http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>) 中 EDU-2D 型態，問題節點數在 300 點左右之 TSP 問題 5 題，轉換為具有標竿解之 PCB 例題 15 題進行測試。

PCB 問題中若 PCB 平均移動距離遠大於(或遠小於)元件槽平均移動距離時，該型態問題較不符合本研究設定之作業環境，且不符合本研究所設計之 PCB 自動化組裝系統求解績效測試時所需之問題型態，因為求解目標將僅需偏向 PCB 移動距離最小化(PCB 平均移動距離遠大於元件槽平均移動距離時)，或是零件槽移動距離最小化(PCB 平均移動距離遠小於元件槽平均移動距離時)即可，因此以下針對本研究所需之 PCB 插入件測試問題，設定數項基本假設，分別為(1)子零件槽中有 20 個元件格($n=20$)，每個元件格半徑為 1 單位;(2)零件槽中每種元件最多僅配置一個位置;(3)PCB 移動速度、機械手臂旋轉速度與零件槽移動速度皆相等;(4)橫向排列之圓盤型零件槽適用的子零件槽個數依元件種類數而定;(5)元件種類數量(M)與 PCB 上需安裝元件數量(N)的比例平均比值為 T ;與(6)進行組裝作業時，PCB 移動距離皆需小於或等於元件槽之最大移動距離。

由於 PCB 插入件作業問題是由具有最佳解的 TSP 型態問題轉換產生，因此本研究合理假設 PCB 插入順序之最佳解必大於或等於 TSP 問題最佳解。在進行 PCB 插入作業時，PCB 的移動距離皆應大於或等於元件槽之移動距離，意即 PCB 上的插入作業依據 TSP 最佳解方式進行時，不會受到元件槽移動取件所延遲，即可將 TSP 問題轉會為 PCB 插入件作業問題，而 TSP 問題之最佳解或許不絕對是 PCB 問題的最佳解，但必定是與最佳解差異極小的標竿解。轉換步驟如下，主要在設定 PCB 插入順序中各位置的元件種類，與各元件在元件槽中的配置方式：

步驟一：依據 TSP 問題規模計算元件種類數 ($M=N/T$)，節點間的移動距離矩陣、子零件槽個數，以及元件槽可能產生之最大移動距離。

步驟二：利用元件槽可能產生之最大移動距離，將 TSP 問題中節點間移動距離矩陣，調整為 PCB 問題中所有待安裝元件間的移動距離矩陣。

步驟三：PCB 安裝順序所經過的元件 j ，依序編號為 $1\sim N$ 。 j 起始值為 1

步驟四：元件種類編號 $i=1\sim M$ ，不考慮相關性條件下，依照第三章中「元件槽中元件配置方式」，配置於元件槽中。

步驟五：起始參數設定 $i=0, j=1, l=1$ ，隨機產生介於 0 與 $T/2$ 間的 ζ 值

步驟六：若 $l > (T + \zeta)$ ， $L = L - d_{j-1,j} + r$

步驟七：設定回合參數 $l=1$ ，隨機產生新的 ζ 值

步驟八：選取編號 $i+1$ 種類的元件，若 $i \leq M$ ，令 $i=i+1$ ，若否， $i=|i-2M|+1$

步驟九：設定 PCB 上第 j 元件的種類為 i ， $l=l+1$ ， $j=j+1$ ，若 $j>N$ 即結束

步驟十：若 $d_{j-1,j} < (r)$ ，且 $l \leq (T+\zeta)$ 則回步驟九

步驟⁺：若 $l \leq (T-\zeta)$ 則返回步驟九，若 $l > (T-\zeta)$ 則返回步驟六。

步驟五中參數 ζ 值必須小於 $T/2$ ，其目的在控制不同種類元件在 PCB 中的分布狀況，其中 $(T+\zeta)$ 表示 PCB 中持續安裝相同種類元件的數量的上限，而 $(T-\zeta)$ 則表示 PCB 中持續安裝相同種類元件的數量的下限。參數 r 表示元件槽最小移動距離，計算方式請參考賀力行等(2003)之研究【25,26,27】。

表 1 PCB 插取件組裝作業測試例題與標竿解

TSP 問題			PCB 插取件組裝作業問題				
名稱	節點數	標竿解	問題名稱	T 值	元件種類	子零件槽個數	標竿解
A280	280	2579	PCB1	6	47	3	2579
			PCB2	8	35	2	2579
			PCB3	10	28	2	2579
Gil262	262	2378	PCB4	6	44	3	2378
			PCB5	8	33	2	2378
			PCB6	10	27	2	2378
Lin318	318	42029	PCB7	6	53	3	8756
			PCB8	8	40	2	4457
			PCB9	10	32	2	4472
linhp318	318	41345	PCB10	6	53	3	8809
			PCB11	8	40	2	4350
			PCB12	10	32	2	4466
Pr299	299	48191	PCB13	6	50	3	8286
			PCB14	8	38	2	4033
			PCB15	10	30	2	4126

4.2 例題測試結果

AS 演算法執行前須先設定眾多基本參數，好的參數組合可以較快搜尋到最佳解，較差的組合則可能造成搜尋過程不亦收斂，本研究應用 AS 演算法所求解 PCB 上插件順序，可視為與 TSP 相似性極高的問題型態，因此各參數值則採用過去學者求解 TSP 問題時所測試出之最適參數組合【4】，使用 Microsoft Windows XP 作業系統，與 AMD Athlon (tm) 64 Processor 3000+ 1.80GHz, 1GB Ram 環境中進行測試。

表 2 印刷電路板自動化組裝決策系統績效測試結果

PCB 問題名稱	PCB 組裝 元件數	元件 種類	PCB 標竿解(A)	近似最佳解 (B)	誤差百分比 (B-A)/A%	求解時間 (秒)
PCB1	280	47	2579	2642	2.44%	3869
PCB2	280	35	2579	2593	0.54%	3994
PCB3	280	28	2579	2624	1.74%	3900
PCB4	262	44	2378	2396	0.76%	3315
PCB5	262	33	2378	2411	1.39%	3354
PCB6	262	27	2378	2416	1.60%	3596
PCB7	318	53	8756	8803	0.54%	4781
PCB8	318	40	4457	4511	1.21%	4891
PCB9	318	32	4472	4544	1.61%	4953
PCB10	318	53	8809	8937	1.45%	4688
PCB11	318	40	4350	4391	0.94%	4742
PCB12	318	32	4466	4548	1.84%	4953
PCB13	299	50	8286	8381	1.15%	4602
PCB14	299	38	4033	4060	0.67%	4579
PCB15	299	30	4126	4174	1.16%	4524
	295	39			1.27%	4316

測試結果如表 2 所示，明顯可以看出本研究設計之演算法，求解橫向排列原盤型零件槽機型之 PCB 問題規模約 39 種不同元件，PCB 上安裝約 295 個元件之問題，平均在 4316 秒內可搜尋出的近似最佳解，與標竿解間平均差異僅

1.27%，最大差異為 2.44%。

5. 結論

本研究設計巨集啟發式螞蟻演算法(MACO) 整合資料探勘技術，發展印刷電路板自動化組裝決策系統，輔助管理者進行印刷電路板整體插、取件作業較佳決策與設定，即各元件在零件槽中的較適配置位置、插件順序，以及取件順序等問題，模式測試結果亦顯示本研究提出之PCB自動化組裝決策系統確實可以有效增進印刷電路板自動化組裝決策系統的效率與品質。在模式績效測試方面，由於過去文獻中使用之例題皆未標示出完整的題目，且關於PCB自動化插取件作業方面之問題並無標準題庫可供利用，因此本研究設計一套問題轉換法則，可將具有標竿解之TSP問題轉換為依然具有標竿解之PCB插取件問題，並利用國際標準TSP題庫(TSPLIB95)中問題規模約300個節點的問題5題，轉換產生15題具有標竿解之PCB自動化插取件作業問題進行模式測試、分析與評估，藉以了解本研究提出之求解架構之實用性與求解效率，亦可做為後續學者進行PCB自動化插取件作業最佳化研究時，提供模式求解績效比較依據之一。

測試結果分析比較於表2中，顯示應用橫向排列原盤型零件槽之PCB機型，求解問題規模平均為39種不同元件，PCB上安裝295個元件之問題，平均在4316秒內可搜尋出與標竿解間平均差異僅1.27%的近似最佳解，最大差異亦不超過2.44%，期望本研究成果對PCB自動化組裝系統與業者而言，應具有重要的參考價值。

6. 計劃成果自評

PCB插取件作業演算法改善方面，本研究成功整合KDD技術於ACO演算法中設計出巨集啟發式螞蟻演算法(MACO)，應用於印刷電路板自動化組裝決策系統。在系統績效測試方面，本研究設計出一個可以將具有標竿解之TSP問題，轉換為具有標竿解之PCB問題的標準轉換步驟，該轉換步驟適用於各式PCB插取件作業機型測試時應用，並成功產生15題具有標竿解之PCB問題，問題規模平均為39種不同元件，PCB上安裝295個元件，供本研究測試使用。

本研究中所應用之ACO演算法架構，與詳細作業步驟、計算公式與相關測試成果，已整理發表於「中國工業工程學會95年度年會暨學術研討會」，而整合KDD技術於MACO演算法所發展之PCB自動化組裝決策系統之詳細作業步驟、計算公式與將TSP問題轉換為PCB問題之標準轉換步驟詳細內容，已整理投稿於(SCI)International Journal of Advanced Manufacturing Technology期刊(審查中)，相信本研究成果對PCB自動化組裝系統與業者而言，應具有重要的參考價值。

參考文獻

1. Barry, and Lin, off., "Data Mining Technologies", New York, NY: Wisely, (1997).
2. Coloni, A., Dorigo, M., Maffioli, F., Maniezzo, V., Righini, G., and Trubian, M., "Heuristics from Nature for Hard Combinatorial Problems", International Transactions in Operational Research, Vol. 3, No. 1, pp.1-21, (1996).
3. Dorigo, M., Caro, D., and Gambardella, L. M., "Ant Algorithms for Discrete Optimization", Artificial Life, Vol. 5, No. 2, pp.137-172, (1999).
4. Dorigo, M., and Gambardella, L. M., "Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem", BioSystems, Vol. 43, pp.73-81, (1997).
5. Dorigo, M., and Gambardella, L. M., "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 1, No.1, pp.53-66, (1997).
6. J. A. Hartigan, M. A. Wong, "A k-means clustering algorithm", Applied

- Statistics, No.28, pp.100-108, 1979.
7. A.K. Jain, Dubes R.C., Algorithms for clustering data, Prentice Hall, 1988
 8. Jiawei, H., and Micheline, K., 著, 增龍譯, 「資料探礦概念與技術-Data Mining, Concepts and Techniques」, 台北: 維科圖書有限公司, (2003)。
 9. Jonathan, F., Barry, Lin, off., Raymond, W. C., and Thomas, A. F., “Machine Setup and Component Placement in Printed Circuit Board Assembly”, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 6, pp.5-31, (1994).
 10. T. Kanungo, D. M. Mount, N. S. Netanyahu, C. D. Piatko, R. Silverman, A. Y. Wu. “An Efficient k-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation.” IEEE Transactions on Patterns Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 7, 2002.
 11. Katsuhisa, O., Zhihong, J., Salah, E. E., ”An optimal assembly mode of multi-type printed circuit boards”, Computers & Industrial Engineering , Vol. 36, pp.451-471, (1999).
 12. Michael J.A. Berry , Gordon S. Linoff 著, 彭文正譯, 「Data Mining 資料採礦—顧客關係管理暨電子行銷之應用」, 台北: 維科圖書有限公司, (2001)。
 13. Michael J.A. Berry , Gordon S. Linoff 著, 吳旭智、賴淑貞譯, 「Data Mining 資料採礦理論與實務顧客關係管理的技巧與科學」, 台北: 維科圖書有限公司, (2001)。
 14. Mike, J., Timo, L., and Olli, N., ”Determining the Manual Setting Order of Components on PC Boards”, Journal of Manufacturing Systems , Vol.15, No.3, (1996).
 15. Osman, I.H., and Kelly, J.P., “Meta-heuristics : an Overview”, in I.H. Osman and J.P. Kelly (eds.) ,Meta-heuristics : Theory and Applications, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, pp.1-21, (1996).
 16. Rakesh, A., and Ramakrishnan, S., “Fast Algorithms for Mining Association Rules”, Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases, pp. 478-499, (1994).
 17. Reza, H., Ahmadi, and Panagiotis, K., “Staging Problem of a Dual Delivery Pick-And-Place Machine in Printed Circuit Card Assembly”, Operations Research, Vol.42, No.1, (1992).
 18. Stützle, T., and Dorigo, M., “ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem”, In K. Miettinen, M. Makela, P. Neittaanmaki, J. Periaux, editors, Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science, (1999).
 19. Timo, L., and Oilli, N., ”Optimization of the movements of a component placement machine”, European Journal of Operational Research, Vol 38, pp.167-177, (1989).
 20. 台灣電路板協會「PTCA」, <http://www.tpca.org.tw>, (2004)。
 21. 林家嘉、徐旭昇, 「PCB 插件整合最佳化問題解算法之研究—以 CNC 機器為例」, 元智大學工業工程研究所碩士論文(2002)。
 22. 陳佳楨, 「資料探勘應用於就診行為與醫師排班之研究—以埔里基督教醫院為例」, 國立暨南國際大學資訊管理研究所碩士論文, (2003)。
 23. 黃振倫、徐旭昇, 「印刷電路板小元件裝配排程問題之研究—以 Fuji CP 機器為例」, 元智大學工業工程研究所碩士論文(2002)。
 24. 賀力行、汪光夏, 「以同步工程為架構的彈性機器人組裝系統」, Proceedings of 1995 CIIE National Conference, 頁 60-66。
 25. 賀力行、張靖、李泰琳, 「印刷電路板最短抓取時間零件槽幾何形狀之研

- 究」，技術學刊，第十八卷，第四期，第 477-486 頁，(2003)。
26. 賀力行，張靖，李泰琳，「印刷電路板零件槽之幾何設計對降低插、取件成本之研究」，第十二屆全國自動化科技研討會論文集，國立虎尾技術學院，頁 129-130，(2001)。
 27. 賀力行，張靖，李泰琳，「印刷電路板零件槽幾何形狀對其安裝成本影響」，2001PCB 製造技術研討會論文集，元智大學，頁 81-89，(2001)。
 28. 張靖、卓裕仁、陳宜君，「旅行採購員模式應用在物流中心檢貨單產生之研究」，中華民國運輸學會第十五屆學術研討會論文集，第 57-69 頁，(2000)。
 29. 楊曉涵，「應用資料探勘方法建立半導體生產績效預測系統」，華梵大學資訊管理學系碩士論文，(2004)。
 30. 劉慧芬、徐旭昇，「雙機分工模式下多樣 PCB 類型製造時間最佳化問題之研究」，元智大學工業工程研究所碩士論文(2002)。
 31. 藍坤銘，「應用資料挖掘隻訊序樣式法於螞蟻理論之改善」，台北科技大學生產系統工程與管理研究所碩士論文，(2001)。
 32. 韓復華、卓裕仁，「巨集啟發式方法在 TSP 與 VRP 上之應用：參數設定與執行機制之探討」，中華民國第五屆運輸網路研討會論文集，第 72-82 頁，(2000)。