

南華大學企業管理系管理科學博士班論文

A DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

Ph.D PROGRAM IN MANAGEMENT SCIENCES

DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

NANHUA UNIVERSITY

應用螞蟻演算法於精簡生產系統佈置

THE APPLICATION OF ACO IN SIMPLIFIED PRODUCTION SYSTEM LAYOUT

指導教授：藍俊雄 博士

ADVISOR : CHUN-HSIUNG LAN Ph.D.

研究生：洪慈雲

GRADUATE STUDENT : TZU-YING HUNG

中 華 民 國 1 0 2 年 1 月

南 華 大 學

企業管理系管理科學博士班

博 士 學 位 論 文

應用螞蟻演算法於精簡生產系統佈置

研究生： 林 維 霖

經考試合格特此證明

口試委員： 陳 瑞 陳

李 心 平

藍 天 翔

吳 心 怡

鄧 少 華

指導教授： 吳 心 怡

系主任： 黃 國 忠

口試日期：中華民國 101 年 12 月 28 日

準博士推薦函

本校企業管理系管理科學博士班研究生洪慈雲君在本系修業年，已經完成本系博士班規定之修業課程及論文研究之訓練。

1、在修業課程方面：洪慈雲君已修滿 39 學分，其中必修科目：最佳化理論、作業研究理論、書報討論等科目，成績及格(請查閱博士班歷年成績)。

2、在論文研究方面：洪慈雲君在學期間已完成下列論文：

(1)博士論文：應用螞蟻演算法於精簡生產系統佈置

(2)學術期刊：

1. Chun-Hsiung Lan, Kuo-Torng Lan, Tzu-Ying Hung, (2012). An Ant Colony Algorithm Method for Multi-objective Production System. Applied Mechanics and Materials Vols. 182-183 (2012), pp. 2071-2074.
2. Chun-Hsiung Lan, Kuo-Torng Lan, Tzu-Ying Hung, (2012). The Layout of Limited Factory Space by Hybrid Methods. International Journal of Advancements in Computing Technology(IJACT), Volume4, Number10, June 2012, pp. 54-60.

本人認為洪慈雲君已完成南華大學企業管理系管理科學博士班之博士養成教育，符合訓練水準，並具備本校博士學位考試之申請資格，特向博士資格審查小組推薦其初稿，名稱：應用螞蟻演算法於精簡生產系統佈置，以參加博士論文口試。

指導教授：李益平 簽章

中華民國 102 年 01 月 07 日

誌謝

Three and a half years is an important part of my life. That is not just about study, also a lot of things happened. Maybe that made me dejected or arrogant. But I know this is the sign from god to force me grow up. At least I learned what the real world is.

Like the song “Hero” mentions

~And then a hero comes alone. With the strength to carry on. ~

My teacher Chris Lan, he is that hero. He taught me a lot. Not just learning but real life. I thought he is another father to me. And I swear I will follow him forever. To be his supporter.

There are many friends I met at NHU to be my supporter with all their heart. They are 郭昭華大哥、美華姊、美淑姊 and 舒怡. I really appreciate all u do for me.

Finally, my family to be my bolster forever and ever, I am definitely sure one thing that all of u know I would be ur bolster forever and ever.

Love u all

~When you face the world alone. No one reaches out a hand for you to hold. You can find love if you search within yourself. ~

Of course I met bad guys too. The only thing I thanks to is they made me saw this world through.

There's a hero If you look inside your heart
You don't have to be afraid of what you are
There's an answer If you reach into your soul
And the sorrow that you know will melt away

南華大學企業管理系管理科學博士班

101 學年度第 1 學期博士論文摘要

論文題目：應用螞蟻演算法於精簡生產系統佈置

研究生：洪慈雲

指導教授：藍俊雄 博士

論文摘要內容：

本研究構建一模型稱為精簡生產系統模型(Simplified Production System Model，簡稱 SPS 模型)，是一個二階段的解決程序。SPS 模型不單單只考慮在給定的廠房空間裡二維多目標生產線的佈置，達到最小總物料運輸流量，同時還要讓生產線佈置在廠房空間裡最精簡。首先運用螞蟻演算法求出最小總物料運輸流量的生產線規劃輪廓，然後在給定的廠房空間裡移動，以最小碎形維度為依據，求出最精簡佈置。因為最精簡佈置可使員工舒適，進而提升員工滿意度，最後導致更好的企業績效。簡單來說，SPS 模型是運用電腦運算來建構此精簡生產系統模型，因此具重複使用的特性，SPS 模型為一提供極有價值之建議的決策工具，在條件已知的情況下可以提早做出規劃，因此本研究所提出之 SPS 模型相當具有建設性。

關鍵詞：SPS 模型、螞蟻演算法、碎形維度

Title of Thesis : The Application of Aco in Simplified Production System
Layout

Department : Ph.D Program in Management Sciences, Department of Business
Administration, Nanhua University

Graduate Date : January 2013 Degree Conferred : Ph.D

Name of Student : Tzu-Ying Hung Advisor : Chun-Hsiung Lan Ph.D.

Abstract

This research proposes a mathematical model called Simplified Production System (SPS) model and a two-staged solving procedure. SPS model not only considers the two-dimensional layout of a multiple production-line system under the constrained factory space to achieve the minimal total material transportation flow but also selects a specific site to deploy the production system for achieving the least complexity. ACO algorithms is firstly applied to arrange a minimal total material transportation flow of a production system. Then place this arranged display in a limited factory space by minimum fractal dimension for a simplified factory layout. Because a simplified factory layout leads to employee comfortable, it could transform to catch the employee satisfaction. Employee satisfaction will finally switch to become the better performance. In summary, this research applies computer programs to solve the SPS model, and thus it owns a repeated characteristic. Actually, this research can be regarded as a valuable decision support tool because it can easily duplicate to solve other cases by changing its input parameters only.

Keywords : Simplified Production System (SPS) Model, ACO Algorithms,
Fractal Dimension

目 錄

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 中文摘要 | | i |
| 英文摘要 | | ii |
| 目 錄 | | iii |
| 圖目錄 | | v |
| 第一章 | 緒論..... | 1 |
| 1.1 | 前言..... | 1 |
| 1.2 | 研究背景..... | 2 |
| 1.3 | 研究目的..... | 6 |
| 1.4 | 研究方法與流程..... | 7 |
| 第二章 | 文獻探討..... | 9 |
| 2.1 | 設施規劃..... | 9 |
| 2.1.1 | 物料搬運成本..... | 10 |
| 2.2 | 二次分配問題..... | 11 |
| 2.2.1 | 群體智慧..... | 13 |
| 2.2.2 | 螞蟻演算法..... | 14 |
| 2.2.3 | 螞蟻演算法歷史與應用..... | 15 |
| 2.2.4 | 基本螞蟻演算法..... | 16 |
| 2.3 | 精簡環境..... | 18 |
| 2.3.1 | 員工滿意度..... | 19 |
| 2.3.2 | 碎形理論..... | 20 |
| 2.3.3 | 碎形理論的應用..... | 25 |
| 第三章 | 模型建構..... | 28 |
| 3.1 | 研究架構..... | 28 |
| 3.2 | 研究假設..... | 30 |
| 3.3 | 螞蟻演算法..... | 30 |
| 3.4 | 碎形維度..... | 31 |
| 3.5 | 模型建構..... | 33 |
| 第四章 | 數值範例與模擬..... | 35 |

| | | |
|------|------------------------|----|
| 4.1 | 範例與模擬規格..... | 35 |
| 4.2 | 螞蟻演算法之運用..... | 35 |
| 4.3 | 碎形維度之運用..... | 38 |
| | 4.3.1 正矩形可利用廠房空間..... | 38 |
| | 4.3.2 不規則形可利用廠房空間..... | 40 |
| 第五章 | 結論與建議..... | 42 |
| 5.1 | 結論與建議..... | 42 |
| 5.2 | 未來研究方向..... | 43 |
| 參考文獻 | 中文文獻..... | 45 |
| | 英文文獻..... | 46 |
| 附錄一 | | 59 |
| 附錄二 | | 60 |

圖目錄

| | | |
|--------|--|----|
| 圖 1.1 | 電影院訂票區平面規劃圖 | 3 |
| 圖 1.2 | 1986 年與 1991 年 Taco Dell 餐廳平面規劃圖 | 3 |
| 圖 1.3 | 研究流程圖 | 8 |
| 圖 2.1 | 螞蟻演算法費洛蒙示意圖 | 14 |
| 圖 2.2 | Von Koch curvel (1) | 21 |
| 圖 2.3 | Von Koch curvel (2) | 21 |
| 圖 2.4 | Von Koch curvel (3) | 21 |
| 圖 2.5 | Cantor Set (1) | 22 |
| 圖 2.6 | Cantor Set (2) | 22 |
| 圖 2.7 | Cantor Set (3) | 23 |
| 圖 2.8 | Cantor Set (4) | 23 |
| 圖 2.9 | Cantor Set (5) | 23 |
| 圖 2.10 | Mandelbrot Set $\times 1$ | 24 |
| 圖 2.11 | Mandelbrot Set $\times 100$ | 24 |
| 圖 2.12 | Mandelbrot Set $\times 1000$ | 24 |
| 圖 2.13 | Mandelbrot Set $\times 100000$ | 24 |
| 圖 2.14 | Julia Set (1) | 25 |
| 圖 2.15 | Julia Set (2) | 25 |
| 圖 2.16 | Relativity | 26 |
| 圖 2.17 | 作品圖 | 26 |
| 圖 2.18 | A System of Architectural Ornament (圖版 17) | 27 |
| 圖 2.19 | 富裕三十六景:神奈川衝浪裡 | 27 |
| 圖 3.1 | 研究說明圖 | 29 |
| 圖 4.1 | 生產線物料運輸流程圖 | 36 |
| 圖 4.2 | 二工作站距離示意圖 | 37 |
| 圖 4.3 | 三條生產線最小總物料運輸流量之最佳規劃輪廓 | 37 |
| 圖 4.4 | 正矩形可利用廠房空間 | 38 |
| 圖 4.5 | 不規則形可利用廠房空間 | 38 |

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 圖 4.6 | 正矩形可利用廠房空間最佳佈置圖..... | 39 |
| 圖 4.7 | 正矩形可利用廠房空間最佳佈置 3D 模擬示意圖..... | 39 |
| 圖 4.8 | 不規則形可利用廠房空間最佳佈置圖..... | 40 |
| 圖 4.9 | 不規則形可利用廠房空間最佳佈置 3D 模擬示意圖..... | 41 |

第一章 緒論

1.1 前言

十二、十三世紀時，各國間開始從事起商業交易和貿易交換；十七、十八世紀則為一重要轉折點，十七、十八世紀時的科學、人文思想開始突破傳統時代，造成人力與畜力的運用漸漸成為了過去式，開始以機械來取代原本所需要的原始動力，從此之後工業進步速度突飛猛進，到現今的二十一世紀甚至完全不需要燈光的無人工廠也即將誕生。特別是在這近三百年內全球的商業經濟型態有著無法控制與預測的速度在發展及改變著，因此當科技、產品、思想、生活型態…每天都在改變的二十一世紀，人類最先要適應的便是「改變」，生活型態的改變、科技的改變、產品的改變、思想的改變、生活型態的改變…，相對的，在商業界也有方法、手段的改變，由於消費者喜好會隨著國際間潮流不斷的進化，為了因應市場產品需求快速變遷，甚至為了先占領市場佔有率，各產業不單是要了解目前市場趨勢更要靈敏嗅出未來市場方向，最好是當市場先驅者引領市場走向，因此各產業的首要課題便是必須從各方面下手朝向提升自我競爭力的目標前進。

目前的經濟流通已經從過去小村落的市集轉變為國與國之間的經濟貿易，這也是近年來研究漸漸朝向以地球村為主要的方向進行研究調查，也因為地球村的經濟體系而導致各國間的經濟波動所影響的不再只是單純各國的經濟問題，而是成為牽一髮而動全身的全球波動，開始讓各國、各產業的管理者意識到這個危機，並且正視相關議題積極地設想解決或應變辦法，由於地球村的經濟環境所涉及的範圍包含全球各個國家，而且不僅僅只相關於各國的經濟狀況，甚至牽扯到政治、地理環境、社會

狀態、民族、資源分配...，再加上累積已久的環境破壞問題導致破壞力強大的天災不斷如此雪上加霜的窘境，都讓全球經濟更為走向難以預測的處境。

如同古書所提及的兵來將擋水來土掩，極具彈性的解決方法逐漸成為各產業、各企業急於尋覓的寶物，極具彈性的解決方法除了能應付無法捉摸的環境變化並且還能同時解決不同情況的問題，而且也毋需為因應各種不同的可能發生狀況而花費人力、時間和金錢去擬訂不同的應變計畫，因此在如此變化多端的環境下，以研擬一個極具彈性的解決方法來應對大環境詭譎多端的變化為本研究之目標。

1.2 研究背景

在日常生活中經常遇到設施規劃設計不良而導致人力、時間與成本的浪費，例如電影院的訂票區(圖 1.1)，電影院的訂票區同時包含飲料及食物的販賣，可是每位售票員距離各餐飲機均不相同，因此顧客在等待所要求的餐點時經常需要花費一段時間，同時售票員在取餐的動線上也容易發生擦撞之安全性問題。Taco Bell 餐廳在 1991 年時改變其內部佈置並且成功地利用了每英吋空間(圖 1.2)，Taco Bell 餐廳內部佈置之主要原因在於配合公司所進行低價與速度的競爭策略，在作業上消除了一些現場準備食物的步驟，同時也可減少作業的空間，並且加速了服務的速率，像是先行烹煮豆子與肉類以及事先切洗洋蔥，同時交由中央廚房或供應商完成部分食材，因此在餐廳的廚房只進行加熱與產品的組合，除了縮短餐點完成的程序之外，Taco Bell 餐廳也調整顧客等後點餐的排隊方式，將原本一排平行櫃檯二邊的排隊隊伍變更為二排並且垂直於櫃檯的排隊隊伍，便能增進免下車點餐之得來速車道窗口的服務，增加產能。



圖 1.1 電影院訂票區平面規劃圖

資料來源：本研究整理

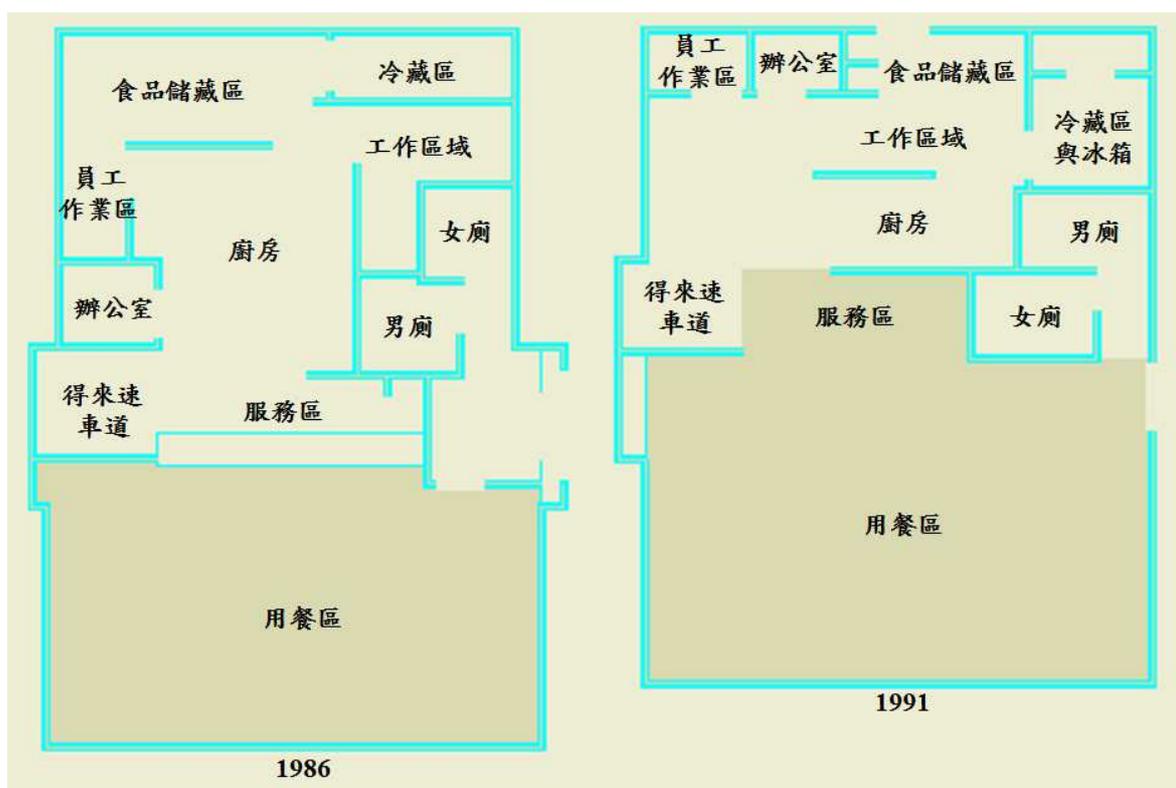


圖 1.2 1986 年與 1991 年 Taco Dell 餐廳平面規劃圖

資料來源：加州洛杉磯 Taco Bell 公司提供。

一般來說，各產業通常可分成生產、行銷、人力資源、研發和財務管理五大項；然而提升競爭力最常見的方法便是降低成本並且提高生產力，尤其是降低成本，就連國際上知名的競爭力評比、經商環境評比都持相同看法。生產是指廠商或服務的提供者，將其可支配的資源（生產

要素) 轉變為商品(有形產品或無形服務)的過程。各行各業都有其主要販售的商品或服務，以賺取能支撐企業營運的財務，因為如此，主要產品或服務扮演著操控企業存亡相當重要的關鍵角色，所以最大利潤一直是各企業的最終目標，而利潤來自於收益與成本的差額，因此企業所追求的便是最大收益和最小成本，由於企業在最大收益的掌控上較不易，可能必須搭配行銷，也有可能天災人禍的影響，或是競爭者的市場分割...，許多難以預測的因素使得企業在收益的拿捏較為吃力，相對來說最小成本對於企業較為可能達成，在生產成本又可分成固定生產成本、變動生產成本、物料採購成本、存貨持有成本、延遲損失成本、物料搬運成本...等，其中 Allegri (1984)曾提及物料搬運成本在生產成本中佔有極大的比例，一個良好的部門佈置和物料搬運路徑的設計是十分重要的議題。物料搬運成本對一企業而言約佔其總生產成本的 20~50%，而藉由有效率的設施佈置與物料搬運規劃可使企業降低總生產成本約 10~30% 並可同時提高企業近三倍的生產力(Tompkins, White, Bozer, Frazelle, Tanchoco and Trevino, 1996)。同時 Heragu (1997)也提到不良的物料搬運路徑的設計，將會導致搬運成本過高、在製品提高，並且降低設備使用率，或使用率不均衡的問題產生。設施規劃問題首先是由 Koopmans and Beckmann 兩位學者在 1957 年提出，認為設施規劃是屬於二次指派問題 (Quadratic Assignment Problem)，且被學者 Sahni and Gonzalez (1976)證實為 NP-Complete (NP, nondeterministic polynomial) 問題。因此有許多研究運用演算法來解決物料搬運規劃問題，而近幾年許多學者採用具大自然習性、生物生態為依據的螞蟻演算法(Ant colony optimization, ACO)來解決此類高複雜度組合最佳化的問題。

亞州首富李嘉誠曾表示人才取之不盡，用之不竭。你對人好，人家

對你好是很自然的，世界上任何人也都可以成為你的核心人物(方式光與李學典，民 80)。以及日本麥當勞董事長藤田田(民 82)曾經談及感情投資是在所有投資中，花費最少，回報率最高的投資，Robbins and Coulter (1999)在其研究中指出，較高的員工滿意度，將會引導較高的員工生產力，同時有許多研究也接著認為，員工滿意度和員工工作績效有正向的相關性。更多的研究一再證明擁有較高的員工滿意度將會創作出更高的生產力(Heskett, Jones, Loveman, Sasser and Schlesinger, 1994; Kenneth, Naveen and Pamela, 2000; Van Scotter, 2000; Nebeker, Busso, Werenfels, Diallo, Czekajewski and Ferdman, 2001)，近年來，員工滿意度與公司績效相關性研究更是舉不勝舉，由此可知，不管是實務界或是學術界對於員工重要性的肯定，如同 20 世紀初的世界鋼鐵大王兼首富 Andrew Carnegie 所說過「帶走我的員工，把工廠留下，不久後工廠的地板就會長滿雜草；拿走我的工廠，把我的員工留下來，不久後我們會有個更好的工廠。」(李逸洋，民 93)。

因此本研究首先探討在有限空間下，以螞蟻演算法解決最小總物料搬運流量的物料搬運規劃問題。況且要有滿意的顧客，必先有滿意的員工(Nebeker *et al.*, 2001)。所以在顧及在最佳物料搬運規劃下，還可以同時具有舒適的環境讓員工滿意。華盛頓州立大學的一項研究發現，當實驗者看著不同程度混亂的辦公室照片時，混亂程度越高，好像看著自己的辦公室被弄亂卻無計可施一樣，感覺越焦慮。由此可知，精簡的工作環境可以提升員工的舒適度，而許多研究者均指出，空間的複雜度可運用碎形維度來進行衡量(Mandelbrot, 1982, 1989, 1990; Barnsley, 1988)。所以本研究嘗試以一個兩階段的求解步驟，在有限空間下佈置精簡生產系統模型(Simplified Production System Model，簡稱 SPS 模型)，第一步驟便是求出最小總物料搬運流量的物料搬運規劃，第二步驟再以最小碎形維

度找出最精簡佈置。

本研究所提出之 SPS 模型有別於過去相似研究，除了顧及各企業所注重的成本問題，以最小總物料搬運流量來降低生產成本，以提高企業利潤外，同時還能藉由提供一最精簡佈置的工作環境提高員工滿意度，進而提高生產率，促進公司績效，給予企業一個可以一舉兩得，並且兼收兩利的方法，幫助企業在這個詭侷多端的大環境裡可以隨機應變，突破重圍。

1.3 研究目的

本研究期望提供 SPS 模型協助產業或企業提升自我競爭力，此 SPS 模型以降低成本並且同時增加員工滿意度為產業或企業提升競爭力手段，首先在已知各生產線之工作站的生產順序以及物料運輸流程下，利用螞蟻演算法計算出最小總物料搬運流量之生產線輪廓，接著以此生產線輪廓於已知之廠房空間下逐步做馬賽克移動，進行所有可能之移動下同時計算其碎形維度，了解所有位置之碎形維度後尋求最小之數值，乃為本研究所追求之最精簡佈置，此最精簡佈置不僅能降低成本為企業帶來更大利潤，同時還能考慮到員工心理因素，提供員工一個精簡之工作環境，一個精簡之廠房工作環境最基本的給予員工安全的工作保障，此外精簡的空間也較使員工在視覺上有更寬廣的視野，因此本研究所提出之 SPS 模型是為一舉數得的解決方法。已下是本研究之研究目的：

一、運用螞蟻演算法在生產線條件已知之情況下求出最小總物料搬運流量的物料搬運規劃輪廓。

二、利用已計算出最小總物料搬運流量之物料搬運規劃輪廓在給予之廠房裡進行馬賽克移動，以找出碎形維度最小的最精簡佈置。

三、結合螞蟻演算法和碎形維度的應用，建立一最小總物料搬運成本並且空間最精簡之精簡生產系統模型(SPS 模型)。

1.4 研究方法與流程

本研究之研究流程如圖 1.3，首先本研究根據目前全球環境與企業經營的瓶頸來挖掘出問題，並且確定研究主題，主題確定後開始著手蒐集相關文獻加以探討，並且建立出結合螞蟻演算法及碎形維度所建構之精簡生產系統模型解決方法，接著以範例來模擬所建立的解決方法是否可行，倘若無法實行，將再另外蒐集文獻，建立新的解決方法，若是可行，會以範例結果進行結論與建議，和探討本研究的成果，進一步提出未來研究發展。

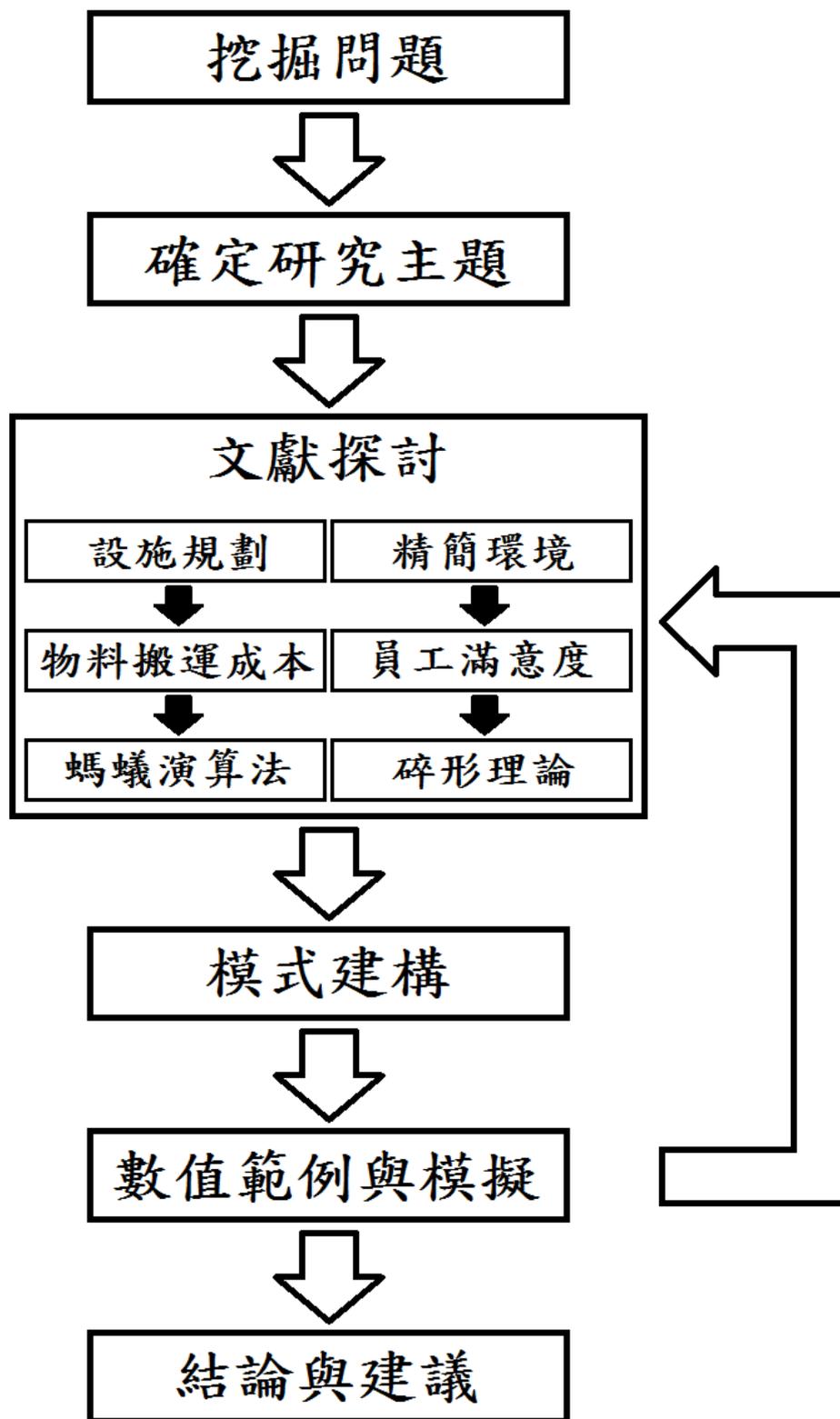


圖 1.3 研究流程圖

資料來源：本研究整理

第二章 文獻探討

2.1 設施規劃

設施規劃(Facility Planning)又可稱設施佈置(Facility Layout)或工廠佈置(Plant Layout)。最近趨勢像是產品生命週期縮短、顧客需求客製化以及全球化所導致變動激增以及無法計算的市場，都造成適應廠房結構成為設計廠房的必要要素(Horbach, Ackermann, Müller and Schütze, 2011)。為了下一世代的廠房，因此製造觀點變得更加清楚，必須是組合式的、可擴展的、有彈性的、開放式的、靈敏的以及知識立基的，只為了配合不斷轉變的市場需求、技術選擇和規章這些實際的狀況，當設計新世代廠房建立新觀念架構時，就必須研究和執行基礎模型和方法(VFF, 2008；European Commission, 2011)。

關於設施佈置之定義，El-Rayah and Hollier (1970)將設施規劃之範圍侷限於製造系統上，他們認為設施佈置之定義為將製造單元中所有設施加以安排，而獲得最佳配置的過程。1985年Levary and Kalchik 將設施規劃之問題解釋為指派並調整設施間的相關位置，使生產系統獲得最佳效率與最低成本。Hassan, Hogg and Smith (1986)則是將設施規劃定義為對設施尋求最佳擺設與排列，讓設施間流量-距離最小化，並且相鄰設施間關係最大化。廠房設備可能是機器工具、工作中心(能夠完成相類似的加工操作的一組機器設備或人員)、製造室、機器站、一個部門或倉庫等(Heragu, 1997)。一個好的廠房佈置可以促進整體經營效率，設施規劃決定如何將作業的固定資產做最有效的支援，來達成作業的目標，對製造工廠而言，設施規劃係要決定如何將製造設施最有效的支援生產活動作業現場的搬運與佈置(Tompkins *et al.*, 1996)。大部分的製造系統裡，在佈置決策的過

程決定於機器的機器種類、數量、大小和關係限制，像是受限於其他機器，當有這些佈置資訊後，廠房佈置計畫者的目標便是機器並且根據其他一個或多個過程要素的設計準則的安排(Ali Taghavi and Alper Murat, 2011)。在發展廠房設備佈置安排，大多數普遍考慮的準則是物料處理距離/成本最小化(Heragu and Kusiak, 1988)。長時間在建築業都相信建構是手工的，如今研究與技術的進步，在建構過程和浪費最小化的需求越來越大，在建構場所預製建構其實就是產品製造時在生產線上運輸和組裝，有一些研究使用最佳化技術來解決預製建構的設計，讓工作站設計可以更有效能(Augusto, Mounir and Antonio, 2012)。當計畫獲得更好的員工效率時，二維設施佈置是最適當以及有效的選擇(Apple, 1977; Deb, Bhattacharyya and Sorkhel, 2001)。

Korczynski (1998)談到未來晶圓廠可能的佈置形態，作者提出風車形和環形這二種形式，其規劃方式是將晶圓儲存區設置於廠房中央，而製程設備則以其功能為主作分類，分別置於儲存區的四周，此方式可使廠房內所有機台到中央儲存區之距離最小化。Chen, Dai and Chen (2008)則提出晶圓製造廠設計程序並規劃流程式佈置方案，以總搬運距離為目標，比較不同產品比例、生產區指派法則以及生產區組合法則。

2.1.1 物料搬運成本

美國物料搬運協會(MHI)物料搬運是指於企業之某特定範圍，藉由機械來移動大量包裝的固態或非固態產品之所有基本作業。El-Rayah and Hollier (1970) 將設施佈置的範圍侷限於製造系統上，他們認為設施佈置的定義應該為：「將製造單元中的所有設施加以安排，以獲得最佳配置的過程。」；Levary and Kalchik (1985)認為「指派或調整設施之間的相關位置，使生產系統獲取最佳的效率與最低的成本」是設施佈置的定義；

而Hassan *et al.*, (1986) 則將設施佈置定義為：「對設施尋求最佳的擺設與排列，使得設施間的總搬運距離極小化，設施間的相鄰關係極大化。」，有效的晶圓廠佈置規劃可以有效的降低晶圓搬運成本以及製造成本10%~30% (Meyersdorf and Taghizadeh, 1998)。

Allegri (1984) 提到機器設施佈置的良否影響到物料處理系統的相關成本，也在1984年時提及物料搬運成本在生產成本中佔有極大的比例，一個良好的部門佈置和物料搬運路徑的設計是十分重要的議題。Tompkins and White (1984)曾提到製造成本中，工件搬運成本佔總加工成本的20%到50%，有效的佈置將使得生產成本降低10%到30%。通常在生產的流程中，物料佔有效加工時間的比例甚小，相對花費在運送、等待的時間則佔有相當大的比例。工作站之間與工作站內的物料搬運為同一套搬運系統可使搬運效率提高(Kurosaki, Nagao, Komada, Watanabe and Yano, 1997)。Heragu (1997)也提到一不佳的物料搬運路徑設計，將導致在製品量及物料搬運成本過高，以及現場之設。 Ficko, Brezocnik and Balic, (2004)估計，無附加價值的物料搬運工作常支出總製造費用的20~50%，但一個有效率的設施配置方案將可降低10~30%的製造成本。

在機器配置問題的研究中，目標函數的選擇多以最小化搬運時間、最小化總搬運距離、最小化工件總流動距離、最小化物料搬運成本，或以最小化工件總折返次數或折返距離為目標函數(Heragu and Kusiak, 1988; Houshyar and McGinnis, 1990; Leung, 1992; Kouvelis and Kim, 1992; Kouvelis, Chiang and Yu, 1995; Kumar, Hadjinicola and Lin, 1995; Braglia, 1996; Ho and Moodie, 1998; Sarker, Wilhelm and Hogg, 1998)。

2.2 二次分配問題

在過去對於解決連續式佈置問題多是使用混合整數規劃(Mixed

Integer Program)，然而若要在合理的時間內求得最佳解，設施數必須要小於 10 個，當設施數大於 15 時，認為設施規劃便是屬於二次指派問題（QAP, Quadratic Assignment Problem），此設施規劃問題首先是由 Koopmans and Beckmann 兩位學者在 1957 年提出，且被學者 Sahni and Gonzalez (1976) 證實為 NP-hard 之問題，由於此類問題所需的運算時間會隨著問題的大小呈指數次方的成長，因此目前 QAP 主要的發展分成二大方向，一為根據工廠實際的運作情況，是以修正 QAP 模型來符合實際生產設施規劃的運作，像是多生產線在工廠之佈置情形討論 (Sarker, Wilhelm and Hogg, 1998b) 或是具有重複加工(重工)操作之生產線佈置研究 (Gong, Yamazaki and Xu, 1999); 另一則是以演化式演算法來求解這一類複雜最佳化問題，如類神經網路 (Artificial Neural Network) (Carlos and Manning, 1995)、基因演算法 (Collins T. D., 1998)、蟻群系統 (ant colony system) (Dorigo and Gambardella, 1997a, 1997b)、人工免疫系統 (artificial immune systems) (Bentley, Gordon, Kim and Kumar, 2001)、粒子群最佳化演算法 (particle swarm optimization, PSO) (Kennedy and Eberhart, 1995; Kennedy, Eberhart and Shi, 2001)、以及量子演化式演算法 (quantum-inspired evolutionary algorithm) (Han and Kim, 2002) 等。

Dorigo, Maniezzo and Coloni, (1996) 在研究裡比較禁忌搜尋法、模擬退火法、遺傳演算法、進化策略演算法和螞蟻演算法求解 QAP 問題，發現以螞蟻演算法的結果為最佳。同時 Maniezzo (1999), Maniezzo and Coloni (1999) 和 Stützle and Hoos (2000) 也同樣運用螞蟻演算法來求解 QAP 問題。而 McMullen (2001) 將蟻群最佳化應用在即時生產 (JIT) 的順序問題上，並且提出若要找出最好的生產順序就須著重於換工件時的整備和原物料的使用率，由於此為 NP-Hard 問題，因此提出使用蟻群最佳化

解決多目標及時生產問題，並且和其他方法比較證明其效率。

2.2.1 群體智慧

結構式的仿生學提供給產品發展和設計改善上創新的方法，這些研究都建立在結構式仿生學的原理、特性和機制上(Junior and Guanabara, 2005; Ma, Chen, Zhao and Dahai Zhao, 2008)。在生物和大自然裡，例如：蟻群和蜂群，因為個體的合作，運用有限已知的技能，複雜系統會變得簡單，生物觀點已經提供靈感發展很多技術和方法解決複雜工程問題，像是物流和交通最佳化、通訊網路、經濟市場和生產系統(Leitão, 2009)。尤其是生物觀點技術的貢獻是可以讓製造系統具有彈性、堅固、重新配置和回應的特性(Leitão, Barbosa and Trentesaux, 2011)。有一些突發行為的實證例子可以發現螞蟻和蜜蜂的社會型態，而且事實上，每個人都知道「只有一隻螞蟻或蜜蜂並不聰明，但若是蟻群或蜂群就很聰明了(A single ant or bee isn't smart, but their colonies are.)。」(Miller, 2007)。群體智慧可以在昆蟲群裡發現，定義為「簡單、單一實體的團體的突發群體智慧(The emergent collective intelligence of groups of simple and single entities.)。」，群體智慧也提供另一個設計智慧，前所未見的一個複雜系統，如同個體間相互影響的分散式經營取代傳統集中控制，導致突發「智慧」全球化行為(Bonabeau, Dorigo and Theraulaz, 1999)。群體智慧包括蟻群、鳥群、魚群和細菌群(Miller, 2007)。例如螞蟻溝通運用間接協調機制叫做“stigmergy” (Grassé, 1959)，“stigmergy”是一個新詞，Grassé創造了這個詞，用來解釋白蟻的築巢行為，這個詞是在幾個希臘語詞根的基礎上造出來的，那幾個詞根的含義是「激發工作」，Grassé表示，是工作成果本身為進一步的工作提供了刺激和指令。群體智慧可以促進個體的協調活動並且減少決策機制，眾所皆知的例子就是鳥群的移動(飛行隊

形成 V 字形)，個體協調自己和其他個體的移動(Reynolds, 1987)。

2.2.2 螞蟻演算法

螞蟻找食物不是靠眼睛，而是螞蟻頭上的觸角，觸角是螞蟻重要的天線，螞蟻藉由觸角搜尋費洛蒙偵測氣味和辨認方位，所以螞蟻就是用觸角來找食物，還有和其他螞蟻溝通的，螞蟻演算法的概念來自於螞蟻在每次覓食會在走過的路徑上遺留下一種分泌物-費洛蒙(pheromone)，下一隻螞蟻便會跟隨費洛蒙濃度來行走，因此回程也是走原路徑，同時費洛蒙也會隨著時間而揮發，最後費洛蒙濃度最高的路徑就是最短路徑(圖 2.1)。A圖為一般螞蟻群從巢穴往食物所行走的路徑; B圖則是在A圖一般螞蟻群從巢穴往食物所行走的路徑中放置一障礙物，使得螞蟻必須繞過障礙物才能到達食物位置; C圖便是螞蟻分為二路繞過障礙物的路徑圖，由圖中可得知二條路徑的長短不同，較長的路徑由於螞蟻行走的路徑較長，費洛蒙會隨時間揮發導致濃度變低，而相對的較短路徑螞蟻所花費的時間較短，並且加上回程時再遺留下的費洛蒙，最後會最短的路徑費洛蒙濃度最高，D圖就是經過一段時間後費洛蒙濃度差距拉開後的最短路徑。

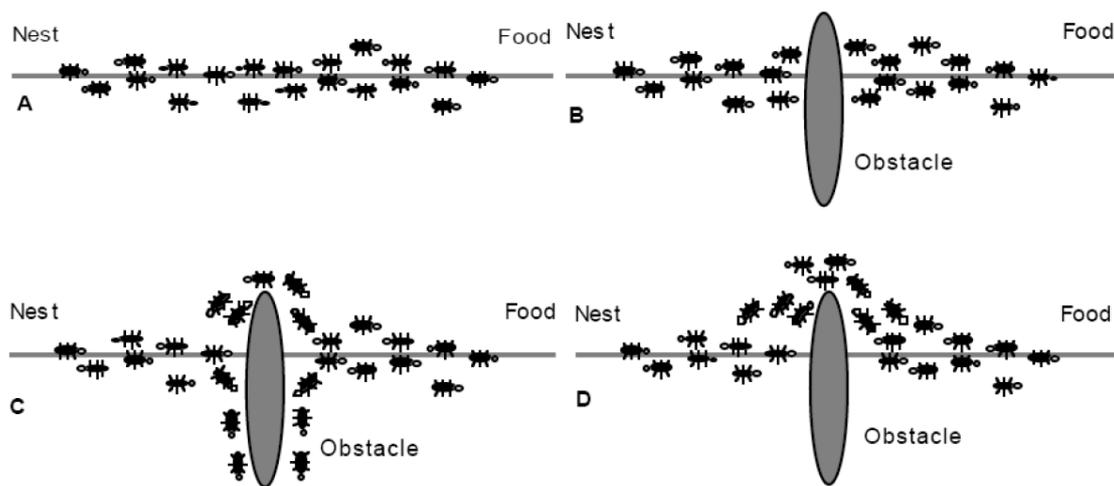


圖2.1螞蟻演算法費洛蒙示意圖

資料來源：Dorigo M., V. Maniezzo and A. Coloni, (1991a), The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process, Technical Report No. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, Italy.

2.2.3 螞蟻演算法歷史與應用

螞蟻系統(Ant Algorithms, AS)是Dorigo, Maniezzo and Coloni在1991年所提出的一個新的巨集啟發式演算法(Meta-heuristics) (Dorigo *et al.*, 1991a)，由於所求解的方式更複雜、雜訊多、及資訊不完整，因此為尋求更優質的表現，而在1996年Dorigo等人進一步的將蟻群系統(Ant Colony System, ACS)與基因遺傳演算法、模擬退火演算法(Simulated Annealing)等啟發式演算法以TSPLIB 國際例題進行比較，蟻群系統所搜尋出結果優於其他演算法，結果與最佳解誤於1997年繼而又改良AS，而提出蟻群系統(Ant Colony System, ACS) (Dorigo and Gambardella, 1997b)。然而會根據所解決的問題特性，因而調整各執行機制的細節設計，像是路徑構建(routes building)、轉換法則(transition rules)與費洛蒙更新(pheromone update)等機制，因而產生多種改良式螞蟻演算法，有Ant-Q(Watkins and Dayan, 1992; Gambardella and Dorigo, 1995)、極大—極小螞蟻系統(MAX-MIN Ant System, MMAS) (Stützle and Hoos, 1997; Stützle, 1998; Stützle and Dorigo, 1999; Stützle and Hoos, 1999)和分等螞蟻系統(Rank-Based Version of Ant System, ASrank) (Bullnheimer, Hartl and Strauss, 1999)等，最後Dorigo *et al.*, (1996)便將AS或ACS所延伸最佳化問題的演算法通稱為蟻群最佳化演算法(Ant Colony Optimization, ACO)。

ACO已陸續成功地應用於求解多種複雜的組合最佳化問題(Combinatorial Optimization Problems)上，例如：旅行推銷員問題(Traveling Salesman Problem, TSP)、車輛路線問題(Vehicle Routing Problem)、二次

指派問題(Quadratic Assignment Problem)、工作站排班問題(Job Shop Scheduling Problem)、網路繞徑問題(Network Routing Problem)與圖形著色問題(Graph Coloring Problem)等(Dorigo *et al.*, 1991a, 1991b; Dorigo, 1992; Dorigo *et al.*, 1996; Bullnheimer, Hartl and Strauss, 1997; Dorigo and Gambardella, 1997a, 1997b; Caro and Dorigo, 1998; Gambardella, Taillard and Dorigo, 1999; Chu, Roddick and Pan, 2004; Kuan, Ong and Ng, 2006; Yin and Wang, 2006)。ACO處理人工系統啟發自實際螞蟻的搜索行為，經常被用來離散最佳化問題(Dorigo *et al.*, 1996)。

以蟻群族群演算法求解零工式排程問題的相關文獻有Zwaan and Marques (1999)以最小化其最大完工時間為績效指標，在不同機器與工作數的零工式排程問題上以蟻群演算法求解，並且加入變異運算子，討論有關的參數最佳化設定，並與已發表的文獻比較求解結果，顯示在擴充式排程問題上，蟻群演算法能求得不錯的解。Zhang, T., Yu, Zhang, Y., and Wenxin, (2007)運用蟻群系統結合分等螞蟻系統和最大最小蟻群系統於同時送取貨車輛路徑問題(VRPSPD)，並建立混合整數規劃模型 VRPSPD，其研究結果顯示該模型可提高車輛負荷率和擺脫總距離增加所造成的負載和最大容量的限制。McMullen (2001) 運用ACO來處理即時生產系統(Just-In-Time, JIT)問題，以求能夠在生產管理上保持較大的彈性並且保持在市場上的競爭力，在研究中以ACO演算法與其他啟發式演算法比較其效率與效度，從結果中得到ACO演算法的表現令人滿意。

因此為求得最小物料搬運成本之生產線規劃，本研究以ACO做為求解之演算法。

2.2.4 基本螞蟻演算法

符號 τ 代表費洛蒙濃度，因此初始化費洛蒙濃度為：

$$\tau_{ij} = C, \forall i, j \quad (1)$$

其中C為常數，i代表巢穴位置，j代表食物位置，則 τ_{ij} 為i到j路徑上的費洛蒙濃度。

蟻群是靠搜尋費洛蒙濃度來辨認方位，因此蟻群都具有遺留及偵測費洛蒙的能力，而蟻群遺留有費洛蒙的路徑稱之為費洛蒙路徑 (Pheromone Trail)，與無蟻群走過或費洛蒙已揮發之路徑來作區分，因此路徑上的費洛蒙濃度會不停變動，因此各路徑的費洛蒙更新方式概念如下：

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (2)$$

$\tau_{ij}(t)$ 及 $\tau_{ij}(t+1)$ 代表從巢穴位置i到食物位置j，在時間t與時間t+1的費洛蒙濃度； ρ 為費洛蒙衰退比例參數， $(1-\rho)$ 為費洛蒙殘留因子，且 $0 < \rho < 1$ ； $\Delta\tau_{ij}$ 為此次循環中，在巢穴位置i到食物位置j上的費洛蒙的增量，其中：

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} Q/L^s & \text{if } (i, j) \in L^s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

L^s 為螞蟻s所完成之路徑總長度；Q為參數值，代表費洛蒙的強度，此參數具有一定程度影響到 $\tau_{ij}(t)$ 收斂速度，通常設為100，然而不同螞蟻演算法的改進版本，於費洛蒙之更新皆有所不同作法。

而尋優路徑是利用轉換機率(transition probability) $P_{ij}^s(t)$ 進行下一節點之選擇。轉換機率所涉及因素包含費洛蒙濃度 τ 及期望值 η (線段長度)：

$$P_{ij}^s(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_s(i)} [\tau_{iu}(t)]^\alpha \times [\eta_{iu}]^\beta} & \text{if } j \in J_s(i) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中 $\tau_{ij}(t)$ 代表從i到j，在時間t之費洛蒙濃度； $J_s(i)$ 代表位於巢穴位置i之螞蟻s尚未拜訪過鄰近位置的集合； η_{ij} 為期望值，為巢穴位置i到食物位置j長度之倒數； α, β 擇適用以決定費洛蒙與距離相對重要性之參數，因此若

$\alpha = 0$ ，即為螞蟻選擇距離最短的鄰近位置作為下一個拜訪點，而若 $\beta = 0$ ，則代表僅以費洛蒙濃度作為選擇下一個拜訪位置，完全不考量其間距離長短。

2.3 精簡環境

二十世紀初，Taylor (1911)從工廠管理的經驗中發展出有名的「科學管理理論」。他認為要提高生產力、讓工作有效率必須以「科學精神」來改革現有的工作情況，其中包括：1.必須對每個人的工作步驟進行科學分析，尋求最佳工作方法；2.根據科學方法甄選、訓練及培養供人之工作技能；3.密切注意工人工作是否符合科學原則；4.劃分管理者與工人兼的責任，俾可各盡所長。而接承Taylor科學化想法的Frank and Lillian (1920)，也針對正確工具與設備進行設計，希望能藉以提升工作表現。要提昇工作滿意度，不外乎與待遇、工作內容、與同事及上司的關係、升遷機會與管理政策等構面著手，但研究也發現，員工對實體工作環境滿意的滿意度與工作滿意是強烈的正向相關 (Carlopio, 1996)，換句話說，當公司提供一個優良、舒適的實體工作環境予員工時，可提升員工工作滿意，進而提高其對組織的承諾，並且願意繼續留下。

檢視近代歷史，製造系統的全球化觀點與當時科學、哲學和藝術原則和發現有密切相關性(Gen, Lin and Zhang, 2009)。佈置計畫是關於製造設備和資源位置的幾何設計，一個高效能的佈置可以從其設備得到成本效益，最重要的問題就是設備的佈置計畫，相同的，場所位置也如同金錢、時間、原物料、員工和設備一樣重要，但是場所佈置常常被忽略，然而一個高效能的佈置可以提升安全性、高效率經營、最小化運輸時間、減少原物料的持有、避免原物料和設備移動的阻塞(Tommelein, Levitt and

Hayes-Roth, 1992)。

2.3.1 員工滿意度

「員工滿意度」一詞最早由學者 Hoppock 於 1935 年所提出，認為員工滿意度是員工在心理與生理兩方面對環境因素的滿足感受，亦即員工對工作情境的主觀反應。Reiner and Zhao (1999)的研究結果發現工作環境，也就是對工作環境、經驗之感覺為影響工作滿意重要因素之一。Dole and Schroeder (2001)則認為工作滿意度可定義為一個人對其工作環境的情緒反應。Arnett, Debra and Charlie (2002)研究指出工作滿意度是員工對工作綜合性的評價，受到員工角色定位、激勵制度、工作環境、管理制度的影響。Williams (2005)認為工作滿意為員工經由工作過程所獲得相關經驗中所產生之一種正面的態度，包含喜悅感或滿足感。員工將會根據工作參考架構，如工作本身、上司、金錢上的報酬、升遷機會、工作環境與工作團體等許多因素，來對工作特性加以解釋與比較後，獲得滿足(Gouldner, 1960; Vroom, 1964; Smith, Kendall and Hulin, 1969; Wexley and Yukl, 1984; Spector, 1997)。

David and John (1984)認為員工的工作滿意高，將可帶來員工能夠自動自發地完成本身的工作，令生產力提高，績效自然提升。Bandura and Jourden (1991)的實證研究也發現，在訂單處理的決策過程中，工作績效愈高者，個人的工作滿意度亦愈高，二者具有正向關係。Robbins (1994)也主張工作滿意度與員工的生產力之間有直接關係，只要提高員工滿意度，即可提升其工作績效。Madu, Kuei, Lin and Chu-Hwa (1995)調查台灣與美國不同大小與創辦歷史的公司，研究他們的品質實務與組織績效之關係，其品質以三個構面衡量，其中之一即員工滿意度。Black and Gregersen (1997)認為工作績效與工作滿意度有相關，尤其當員工在工

作上投入愈多，則其滿意度與工作績效愈是具有相關性存在。

2.3.2 碎形理論

在 Benoît B. Mandelbrot 發表以前，許多數學家發現自然界有許多形狀，例如山脈、樹木、河川等，是無法用歐氏幾何、牛頓力學去解釋，於是將此類歸於“Chaos”。因此物理學家 Freeman Dyson 曾說過：「大自然開了數學家一個玩笑，也許十九世紀的數學家缺乏想像力，但大自然本身卻不會」。Benoît Mandelbrot (1977) 也說了“Clouds are not spheres, mountains are not cones, coastlines are not circles, and bark is not smooth, nor does lightning travel in a straight line. A fractal is a shape made of parts similar to the whole in some way,”。長久以來，人們堅信複雜形狀必須靠複雜程序才能製造出來，但是碎形即是高度複雜，又可說是特別簡單，它之所以複雜，是因為它有無窮的細節以及獨具的數學特性（沒有任何兩種碎形是一模一樣的），但是它也很簡單，因為可以用簡單的疊代公式連續運算後產生 (John Briggs and F. David Pest, 1989)。

1919年Felix Hausdorff對實變分析學 (real analysis) 中的測度論 (measure theory) 提出與碎形維度有關的兩個重要概念—Hausdorff measure (豪斯多夫測度) 和Hausdorff dimension (豪斯多夫維度)，並且研究幾何學的病態構造，將維度定義從數推廣到分數，建立了分數維的基礎數學原理。而“Fractal (碎形)”這個字出自拉丁文fractus，其意是「碎成不規則細片的狀態」，由生於波蘭，長於法國的數學家Benoît B. Mandelbrot在1967年科學期刊中所發表的「英國海岸線英國的海岸線有多長？統計自相似和分數維度」所命名的。

碎形幾何可以歸納出四項特徵，首先是分數的維度(Fractal Dimension)，碎形的維度不同於一般一維的線條或是二維的矩形，碎形的維度並非是

整數，如同 Von Koch curvel (Helge von Koch, 1904)，Von Koch curvel 是由一固定長度之線條如圖 2.2，再截斷線條中間的 $1/3$ ，再以二截點出發，各以 60° 為仰角作延長，直到二線段交叉(圖 2.3)，此時線段總長度便會成為原先線段的 $4/3$ 倍，若再次執行一次，如圖 2.4，則線段總長度便會為圖 2.2 長度的 $16/9$ 倍，也就是說，倘若每變動一次總長度便會增加原先長度的 $4/3$ 倍，由於維度計算為 $1+\log(d)$ ，因此假設圖 2.2 之線段長度為 1，則圖 2.3 之 Von Koch curvel 維度便是 $1+\log(4/3)=1.2619$ ，表示碎形的維度並非為整數。



圖 2.2 Von Koch curvel (1)

資料來源：本研究整理



圖 2.3 Von Koch curvel (2)

資料來源：本研究整理

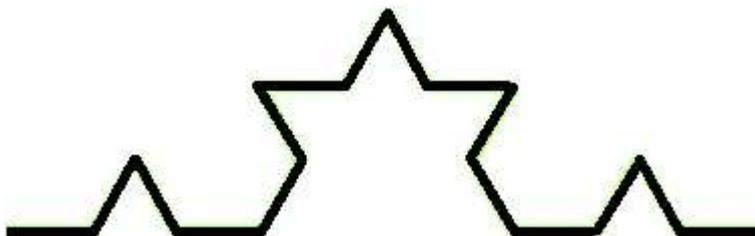


圖 2.4 Von Koch curvel (3)

資料來源：本研究整理

接下來是自我相似性 (Self-similarity) ，自我相似性即該碎形的局部會與整體相似，也就是尺度一層一層縮小的對稱性，以不斷循環的方式重現，因此又稱自我模仿性，同時，碎形幾何維度也不因尺度有所改變，包括 X、Y 方向。第三點則是無限的延展性 (Unlimited Expansion) ，無限的延展性則是指即使不斷放大其相同的結構都會不斷出現，其碎形維度會保持一致。最後是渾沌的動態性 (Chaotic dynamics) ，代表初始值的微小變化會導致無法預測的結果，也表示長期趨勢具有不可預測性，尤以非線性的碎形即具有此現象。

碎形的表現出現於多種種類，像是以數理規則所產生的圖形，以 Cantor Set (Cantor, 1883) 為例，Cantor Set 是指介於 0 到 1 之間無數線段或點所組成的集合，Cantor Set 是德國數學家 Cantor 所提出，Cantor Set 是指設一線段長度為 L (圖 2.5)，將 L 均分成三等份，再將中間的線段截去 (圖 2.6)，此時總長度為 $\left(\frac{2}{3}\right)^1 L$ ，之後再以同樣手法截取剩下線段 (圖 2.7)，此時總長度為 $\left(\frac{2}{3}\right)^2 L$ ，然後不斷重複操作，如圖 2.8 及圖 2.9，最後總長度為 $\left(\frac{2}{3}\right)^n L$ 。

圖 2.5 Cantor Set (1)

資料來源：本研究整理

圖 2.6 Cantor Set (2)

資料來源：本研究整理



圖 2.7Cantor Set (3)

資料來源：本研究整理



圖 2.8Cantor Set (4)

資料來源：本研究整理

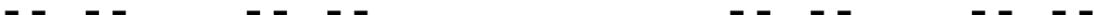


圖 2.9Cantor Set (5)

資料來源：本研究整理

在此 Mandelbrot Set 也是碎形相當具有代表性的一個例子，Mandelbrot Set 是對複數平面上每一點 $z=a+bi$ 利用疊代式 $f(x_{n+1}) = x_n^2 + z$ ， $x_0 = 0$ 判斷是否有發散結果，然後將不會發散的區域保留下來就是 Mandelbrot Set，從 Mandelbrot Set 就可發現(圖 2.10~圖 2.13)，縱使放大倍數的增加，仍可發現有相同的彎捲圖形不斷出現。

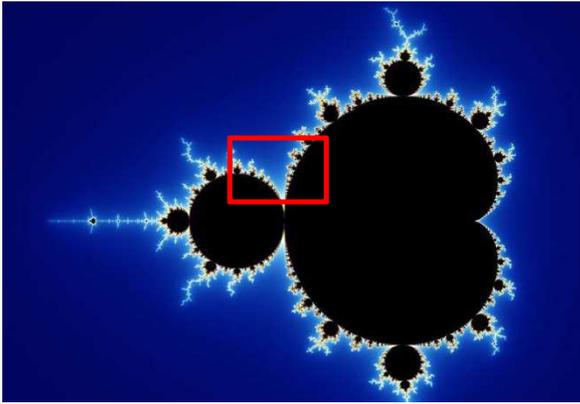


圖 2.10Mandelbrot Set $\times 1$

資料來源：Mandelbrot, B. B. (1982), The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco.

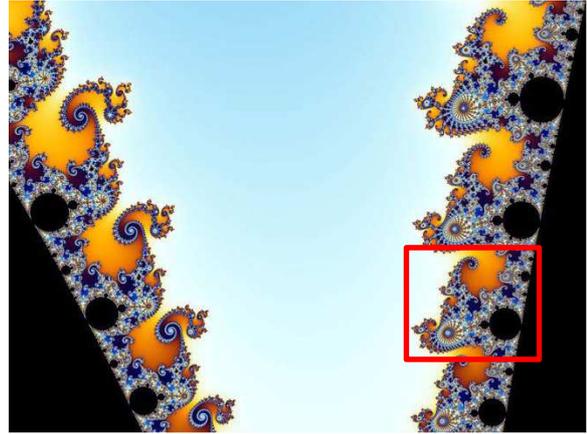


圖 2.11Mandelbrot Set $\times 100$

資料來源：Mandelbrot, B. B. (1982), The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco.

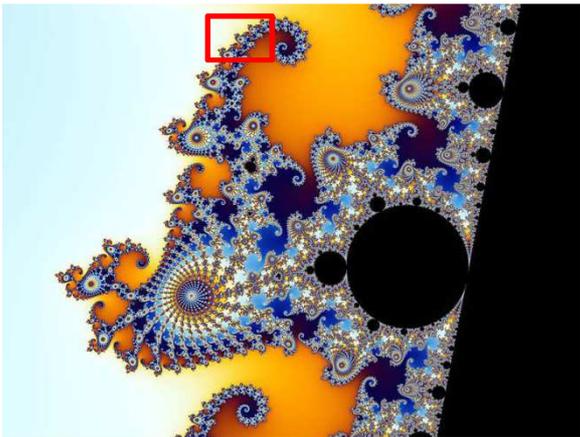


圖 2.12Mandelbrot Set $\times 1000$

資料來源：Mandelbrot, B. B. (1982), The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco.

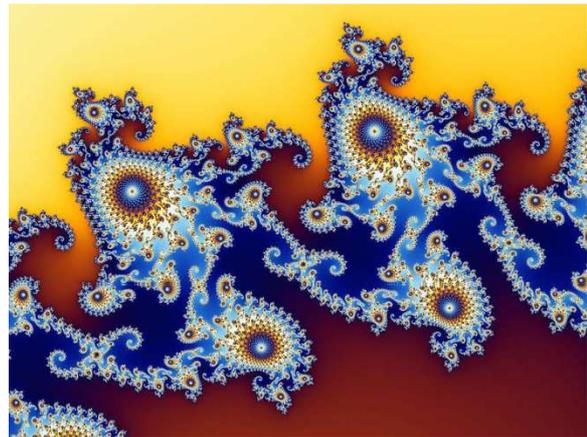


圖 2.13Mandelbrot Set $\times 100000$

資料來源：Mandelbrot, B. B. (1982), The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco.

以及 Julia Set，其原理與 Mandelbrot Set 相似，Julia Set 是法國數學家 Gast Julia 於 1920 年代所創造的 Iterated system，屬於 Complex dynamical fractal 的原型，除了具備碎形的自我相似性之外，還具備有 Deterministic chaos 的特徵，也就是說縱使明確的運算依然會有不

可預期性，最早此論點是以數理符號及文字代表，未有任何表示圖像，直到 1970 年代數學家 Benoît B. Mandelbrot 以電腦繪圖的方式將它視覺，其代表圖形，是對複數平面上每一點 $z = \alpha + b_i$ 利用疊代式 $f_{(x_{n+1})} = x_n^2 + C$ ， $x_0 = z$ ，疊代次數會影響圖形的精細程度，需要越高的疊代次數當圖放的越大時才能看出碎形的效果來；其中 C 是一個常數，決定疊代多項式的常數部份，因此 C 不同圖形也不同； m 值則是決定疊代多項式的冪次，同樣地， m 值不同圖形也不同，最後判斷其發散與否，將不會發散的區域保留下來就是所謂的 Julia Set，圖 2.14 是 $z = z^3 + C$ ， C 為 $0.125 + 0.8j$ ；圖 2.15 則是 $z = z^3 + 1.5z^2 + C$ ， C 為 $-0.52 + 0.61j$ 。

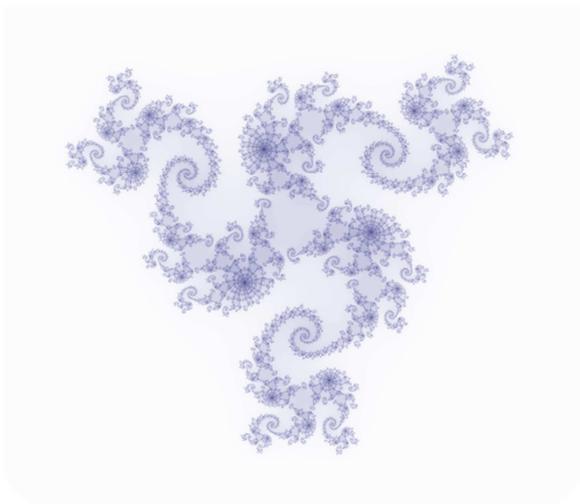


圖 2.14 Julia Set (1)

資料來源：本研究整理

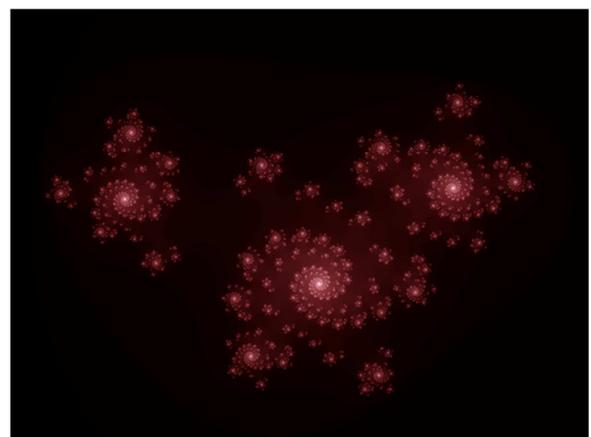


圖 2.15 Julia Set (2)

資料來源：本研究整理

2.3.3 碎形理論的應用

William Whewell (1794-1866) 為英國劍橋大學三一學院的科學家，同時也是哲學家，在 1840 年所撰的“The Philosophy of the Inductive Science”一書中，第一次出現“Consilience(融通)”這個詞，「融通」的意義

經由合併跨學門的事實並且以事實為理論基礎，創造出一個共同的解釋基礎，讓知識融會在一起，也就是說，其理論與觀點是於跨領域中找尋不同學識文本間的可共量性、可共同性與可共通性的形式轉喻基礎，而這個「融通」的現象是一種測試理論真實性的方法，因此「融通」可應用解釋存在於藝術學、美學、資訊科學與運算數學等專業跨領域的融合。

在早期藝術家的創作作品中更不乏運用數學原理的案例，像是碎形幾何理論在藝術上的應用，包括利用自我模仿性設計造型的 M. C. Escher(圖 2.16)、Op 藝術家 B. Riley(圖 2.17)和摩天樓設計美學的奠基人 Louis Sullivan(圖 2.18)作品，以及十八世紀日本畫家葛釋北齋在其「富裕三十六景:神奈川衝浪裡」(圖 2.19)的海浪描繪具有深度結構化的碎形表現，直到最近有關運算文本在新媒體藝術方面的應用如人工生命(Artificial Life)、基因演算(Genetic Algorithms)及混沌理論(Chaos Theory)或碎形幾何理論(Fractal Geometry Theory)等(Paul, 2006)。

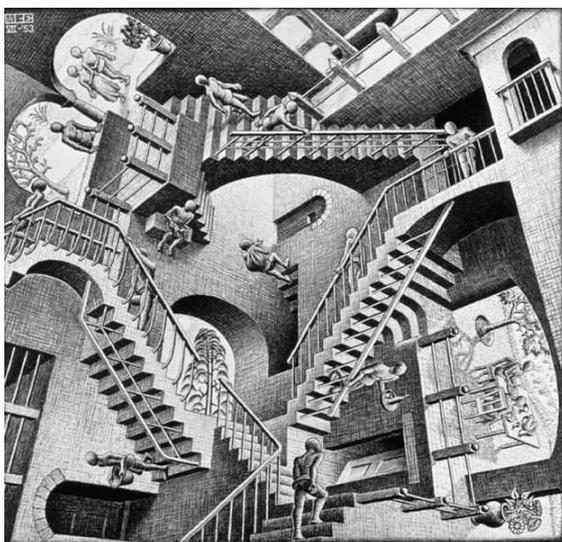


圖 2.16 Relativity

資料來源：M. C. Escher, Lithograph, 1953

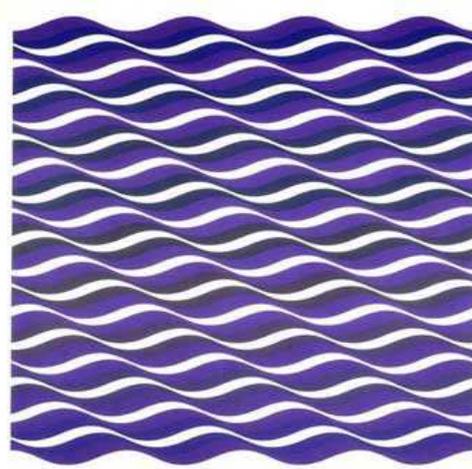


圖 2.17 作品圖

資料來源：B. Riley

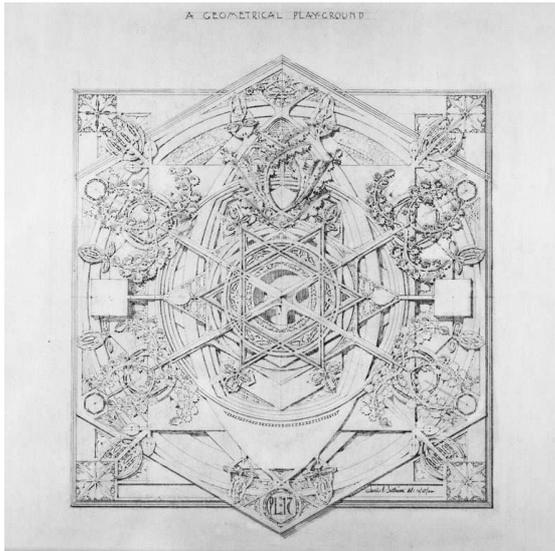


圖 2.18 A System of Architectural Ornament (圖版 17)

資料來源：Louis Sullivan, 1922 年完稿，
1924 年初版



圖 2.19 富裕三十六景:神奈川衝浪裡

資料來源：葛釋北齋

目前，以碎形幾何理論與應用為基礎的圖案設計研究方興未艾，碎形藝術圖案在裝飾藝術設計、廣告設計、服裝設計、陶瓷設計等設計領域中已有部份應用(Barnsley, 1988; Zhang, Sugisaka and and Li, 1998; Chen, 1999; Barlow and Bass, 2000; Valor, Albert, Gomis and Contero, 2003; Wang, 2001, 2003; Yan and Deng, 2003; Frauenberger, Stockman, Putz and Holdrich, 2005)。Venkatadri, Rardin and Montreuil (1997) and Montreuil, Venkatadri, and Rardin (1999)提出碎形佈置觀點，是將生產所有產品的地方分割成大小一致的區塊然後佈置。

第三章 模型建構

3.1 研究架構

面對產業的五大競爭作用力，Porter (1980) 提出三項可用來超越產業內其他公司的一般性策略，分別為：成本領導、差異化、焦點集中。其中成本領導即採取低成本策略，一旦有較低的成本，所得的高盈餘便可再投資新設備和現代化設施，保持成本領先，此種再投資也可說是維持低成本地位的先決條件。由於 Tompkins and White (1984) 曾提到製造成本中，工件搬運成本佔總加工成本的 20% 到 50%，有效的佈置將使得生產成本降低 10% 到 30%。加上考慮各部門間的聯繫問題，特別考慮整體物料搬運系統，再配合各活動區域之分析與協調，使其達到整體工廠佈置最經濟有效的目的，提高了物料搬運系統在工廠佈置中的地位 (Apple, 1977)。因此本研究期望以計算最小總物料運輸流量之生產線規劃達成降低製造成本。

其中 Holthaus and Rajendran (2005) 提出了改良的螞蟻演算法，簡稱 FACO (fast ant colony optimization)，求解單機總加權延遲最小化的排程問題，並跟現存的啟發式演算法做比較，其結果顯示 FACO 能求得較佳的解；Liao and Juan (2007) 提出了在單機環境下考慮順序相依整備時間 (sequence dependent setup times) 的限制使用螞蟻演算法求解總延遲時間最小化的排程問題，並在螞蟻演算法的費洛蒙路徑加入區域搜尋法做改良，其結果與現存的遺傳基因演算法和禁忌搜尋法做比較，均有較佳的求解效果，因此本研究運用 ACO 計算生產線規劃之最小總物料運輸流量。

傳統上，勞資雙方的關係是建立在衝突之上的，勞資的利益在基本

上是不一致的，兩者是相互對抗的，但是時代會改變的，資方越來越知道出色的成績要以增加生產力、改良品質來達成，而降低成本則需要員工的合作 (Decenzo and Robbins, 1997)。Ivancevich and Matteson (1980) 與 Kinicki and Kreitner (2006) 皆認為員工工作壓力影響員工工作滿意度。要提昇工作滿意度，不外乎與待遇、工作內容、與同事及上司的關係、升遷機會與管理政策等構面著手，但研究也發現，員工對實體工作環境滿意的滿意度與工作滿意是強烈的正向相關 (Carlopio, 1996)。Cheng, Lee, P.J. and Lee, T.Y. (1999) 研究台灣地區地形起伏變化，將台灣以不同大小的網格切割，使用盒子計數法計算不同高程下碎形維度的變化，發現台灣地區地形起伏在不同高度下，會有不同的變化，相對高程較低的地區，地形起伏較小，相對高度較大的地區，碎形維度值較高，表示地形起伏較大，由碎形維度值的變化量。因此本研究以碎形維度做為衡量空間複雜度之工具，預期提供員工一精簡工作環境，同時提升員工滿意度。

本研究將此模型稱為為精簡生產系統模型 (Simplified Production System Model，簡稱 SPS 模型) 之構建 (圖 3.1)。此 SPS 模型不僅能達到最小總物料運輸流量，同時是最精簡的佈置在廠房裡。

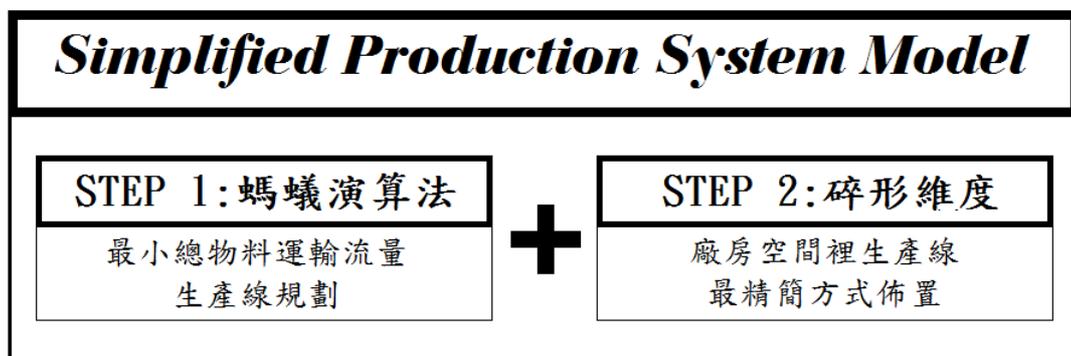


圖 3.1 研究說明圖(本研究整理)

資料來源：本研究整理

3.2 研究假設

1. 本研究為探討在一廠房空間裡的多生產線規劃情況。
2. 本研究假設此規劃同時具備最小總物料運輸流量的生產線規劃同時以最簡方式佈置於廠房空間裡。
3. 在已知各生產線中工作站的生產順序的狀況下，進行規劃工作站。
4. 本研究所探討的運輸距離是指相鄰的二工作站之中心點距離。
5. 本研究只探討工作站之規劃問題，而有關工作站間緩衝區容量、生產線機具購置成本等其他問題並不加以討論。
6. 本研究所佈置之可利用廠房空間不侷限為正矩形之廠房空間。

3.3 螞蟻演算法

本研究之第一目標為在有限空間下尋求所有工作站*i*到工作站*j*的單位時間物料的流動數量與工作站*i*到工作站*j*的距離之乘積總和最小，也就是本研究的第一目標求得最小總物料運輸流量的生產線規劃。首先運用螞蟻演算法求出最小的總物料運輸流量(total material transportation flow)的生產線佈置，總物料運輸流量詳見如下：

$$TF = \sum_{i,j} f_{ij}d_{ij} \quad (5)$$

其中*i,j*代表兩父子之生產單元，*f_{ij}*代表生產單元*i,j*間的產品產出量，而*d_{ij}*代表生產單元*i,j*間的距離，因此若*j*在*i*的上下左右方時，則*d_{ij}* = 1; 如果*j*在*i*的斜上下左右方時，則*d_{ij}* = 2; 倘若*j*不在*i*的周遭旁邊時，則*d_{ij}* = ∞; 最後獲得一個最小的總物料運輸流量。

詳細的螞蟻演算法詳見附錄一，其中符號說明如下：

$p_{ij}^k(t)$: 第 *t* 代時，第 *k* 個生產單元，它會將其 child *i* 放到方位 *j* 的

機率值。

$\tau_j^k(t)$: 第 k 個生產單元的方位 j 的費洛蒙值。

$N_D^k(t)$: 第 t 代時，第 k 個生產單元的 taub list，它是目前可以放生產單元 k 的子生產單元的位置的集合。

$N_C^k(t)$: 第 t 代時，第 k 個生產單元的 taub list，它記錄目前生產單元 k 可有那些子生產單元需要加以安置。

$L_D^k(t)$: 第 t 代時，若已完全將整個生產節點佈置到廠房基地上，第 k 個生產單元所有子生產單元的安置方位。

TN : 所有生產單元總數。

在第一階段經過螞蟻演算法所產生出來的結果會有一具有最小總物料運輸流量生產線規劃輪廓出現，接著以此輪廓在給定之廠房空間裡移動以最小碎形維度為依據為求最簡佈置。

3.4 碎形維度

精簡的佈置為本研究之第二目標，是在已完成第一目標的生產系統規劃後，追求已知廠房空間下，碎形維度最小化之佈置。經由螞蟻演算法求出最小總物料運輸流量的生產線規劃後，本研究將以此生產線規劃輪廓依序使廠房空間裡以逐步移動的方式尋找出在廠房空間中碎形維度最小的位置。而本研究所提出此逐步移動方式，稱之為馬賽克移動技術 (Mosaic-Moving Technique)。

其詳細的馬賽克移動技術數學演算如附錄二，其中符號說明如下：

FD : 碎形維度 (Fractal Dimension)。

b : 將廠房空間於水平及垂直方向各分成 b 等分。

$C(b)$: 廠房空間中工作站所佔據之方格數。

r : 工作站的平均半徑。

d_{min} : 二工作站間可容許的最小間隔距離。

k : 二工作站的中間點的最小距離，其中 $k \geq 2r + d_{min}$ ，另外 k 亦指每個廠房空間之可佈置方格寬度。

D_l : 廠房空間的長度。

D_w : 廠房空間的寬度。

N : 工作站的總數。

(i, j) : 每個可佈置方格的位置代號，而每個可佈置工作站位置的方格面積皆為 k^2 。也就是說，在 k 是固定的情況下，一個方形廠房空間的可佈置方格總數是可以被決定的。而每個可佈置方格僅可擺設一工作站。其中 i 代表是最左下方算起的第 i 列，而 j 為第 j 排。

$[f]$: f 取 Gauss 函數。

A_k : $A_k = \left\{ \left((i, j) \mid \begin{array}{l} \forall i=1,2,\dots,m_k \\ \forall j=1,2,\dots,n_k \end{array} \right) \right\}$ 指的是在以 k 為佈置寬度下之廠房空間的方格所組成的集合，其中 m_k 代表長度可分配的格數，為 $\left[\frac{D_l}{k} \right]$ 。而 n_k 代表寬度可分配的格數，為 $\left[\frac{D_w}{k} \right]$ 。

B_k : $B_k = \{(i, j) \mid (i, j) \text{ 屬於在以 } k \text{ 為佈置寬度下廠房空間區域 } \forall (i, j) \in A_k\}$ 。

J_k : $J_k = A_k - B_k$ ，則是在以 k 廠房空間的長度為佈置寬度下廠房空間中可佈置方格所成之集合。

X_k : $X_k = (a_1, a_2, \dots, a_n) \forall a_i \in J_k \text{ 且 } a_i \neq a_j$ ，是指在以 k 為佈置寬度下，由 N 個可佈置方格所組成之一組向量。

經過最小總物料運輸流量的生產線規劃輪廓在給定廠房空間裡不斷

地移動，透過每次移動都可以藉由碎形維度逐步數學演算求出其碎形維度，最後比較出最小碎形維度便是本研究之最後結果-同時具有最小總物料運輸流量的生產線規劃並且以最精簡方式佈置於廠房空間。

3.5 模型建構

因為一生產線規劃的方法有無限多種可能，所以本研究所提出之 SPS 模型是以空間網格化離散的方式，先將廠房空間裡無限可能規劃之位置轉換成有限潛在可規劃位置後，再進行生產線中各工作站的規劃。

k 為兩相鄰工作站為距離下所切割出之網格數目，因此 $\left\lfloor \frac{D_l}{k} \right\rfloor = m_k$ 代表在水平方向所切割得到之網格數，也就是說，水平方向可切出 m_k 等份。至於在垂直方向，即為可切割 $\left\lfloor \frac{D_w}{k} \right\rfloor = n_k$ 等份。所以在此廠房空間，所有可能規劃之潛在位置共有 $m_k \times n_k$ 個網格，此值應大於或等於實際可規劃知位置集合 J_k 中的元素個數，而且 J_k 中的元素個數要大於或等於實際上所需規劃之工作站的總數 N 。另外，因為長度 k 所圍成的網格面積為工作站之最小所需之規劃面積，網格長度 k 至少要大於或等於 $2r + d_{min}$ 。若以 k 為兩相鄰工作站之佈置距離，則 N 個工作站之位置可以用 N 維的位置向量 X_k 來表示，以及不同生產線但執行相同功能之工作站可容許佈置於同一位置空間中，其單元處理的時間可以累加。

因此本研究所提出之 SPS 模型可幫助產業或企業在生產線上降低總物料運輸成本，因此當產品之成本較為同業或過去販售費用更為少且品質不變之情況下，就同業競爭力來說必定給予同業相當大的威脅，以產業或企業本身來說除了可以增加利潤外，同時也可以增加對消費者的吸引力，並且在鋪貨的通路上更具有彈性，對於增進市場佔有率是一大福音。

由於目前各產業或企業間的競爭抓抓撓撓，特別是機械化生產線上的員工所受到之相對壓力也與日俱增，因此 SPS 模型也提供員工一精簡的廠方空間，試圖以空間效果降低員工煩躁之壓力情緒，此外精簡的廠方空間還可減少工廠裡危險意外的發生，當員工具有平順的情緒以及足夠的安全感，在心理上對企業的認同與歸屬將日增月益，相對的在工作上更能為企業帶來更大產能，所以 SPS 模型不僅可降低產業或企業成本提高競爭力，同時還顧慮安撫員工身心靈的狀況，是為一多角度皆兼具之模型。

第四章 數值範例與模擬

4.1 範例與模擬規格

本研究以一工廠之多生產線規劃為主要範例，利用本文第三章所提及之SPS模型來進行廠房空間最精簡之多生產線規劃設計。本研究模擬之廠房為一長寬各100公尺之矩形空間，基於為因應實際情況，以及增加本研究運用彈性，因此本研究所佈置之可利用廠房空間不局限於一正矩形空間，並且必須將於此空間中佈置三條不同的生產線(此三條生產線共具15個工作站)的最簡廠房設計。

4.2 螞蟻演算法之運用

此三條生產線中的各工作站運作先後順序如圖4.1所示，每工作站之平均規模大小為直徑6公尺的圓形範圍，並且兩工作站間的可容許最小距離為 $d_{min} = 4$ 公尺(圖4.2)。編號1~7工作站為第一條生產線，編號8~11工作站為第二條生產線，編號12~15工作站則屬於第三條生產線。各工作站間之箭頭符號表示物料的工作站運送方向至另一工作站的方向，而箭頭數值則代表物料在單位時裡通過之數量(個/分)，然而在實際情況下，為了因應特定之操作目標如產品需重複加工生產製造，因此在某些階段之生產流程具有迴流(Backtracking)之特點，便是本文所稱謂之重工，包括3號工作站與5號工作站、9號工作站與10號工作站以及14號工作站與15號工作站皆具有迴流之特性。此外，倘若二工作站均執行相同之工，則可作共站規劃，包括屬於第一條生產線的4號工作站與第二條生產線的9號工作站與第一條生產線的6號工作站與第三條生產線的13號工作站，皆具

有共站特性。

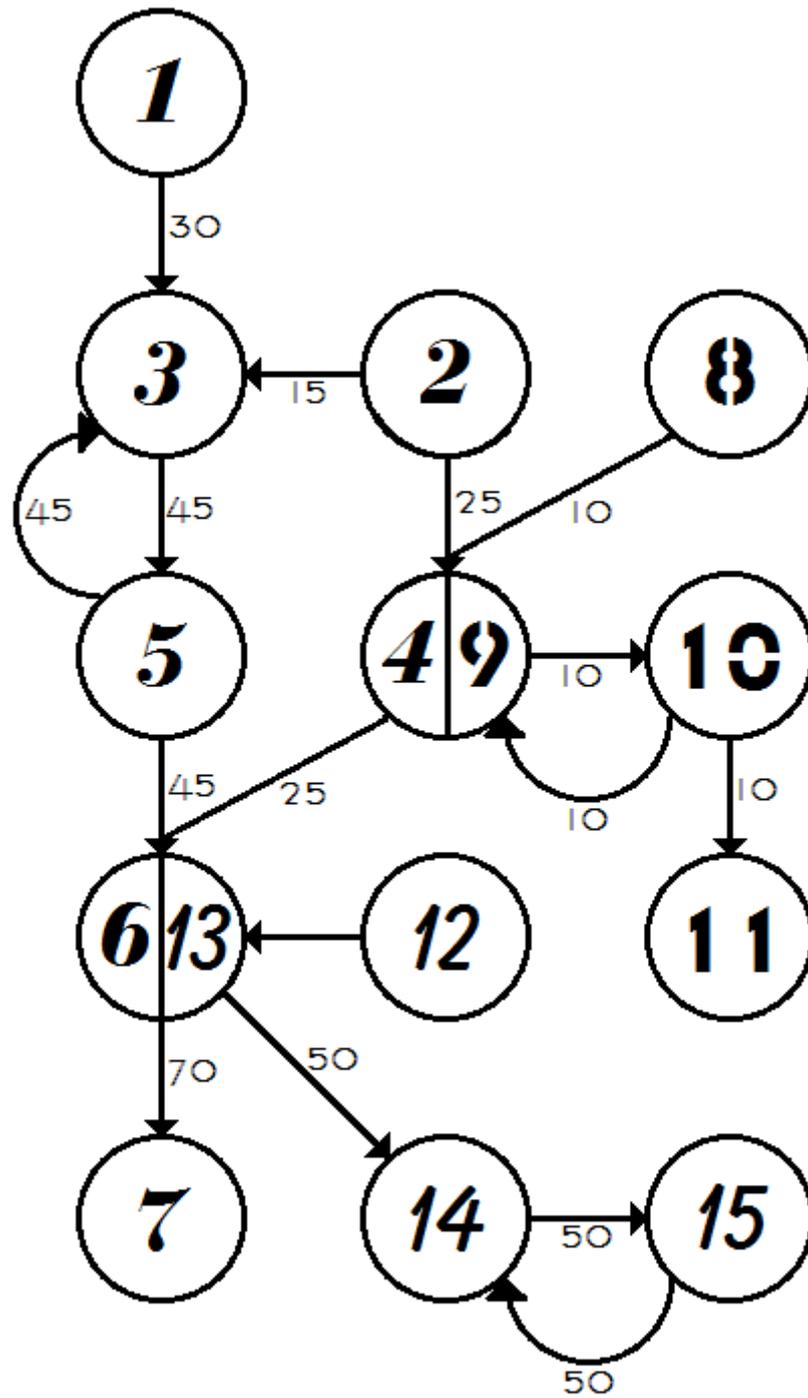


圖 4.1 生產線物料運輸流程圖

資料來源：本研究整理

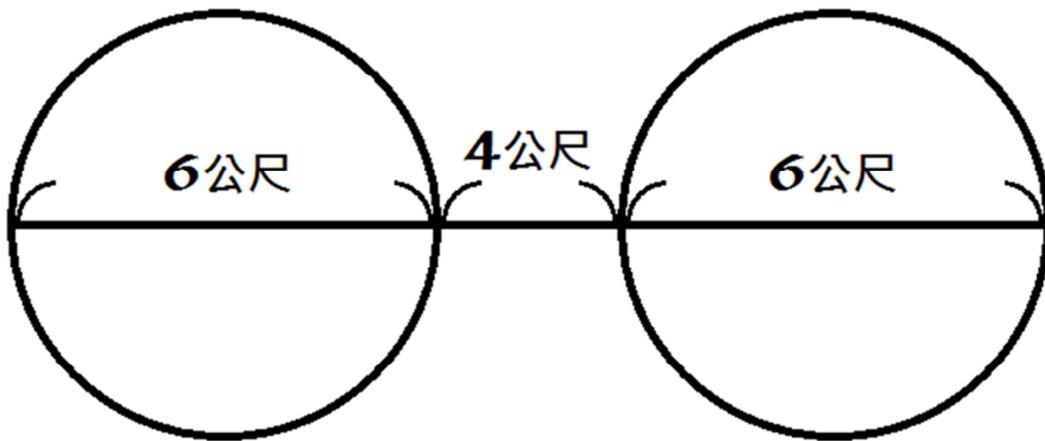


圖 4.2 二工作站距離示意圖

資料來源：本研究整理

在經過螞蟻演算法以最小總物料運輸流量為目標的最佳化運算後，其建議此三條生產線共15工作站之最佳規劃輪廓如圖4.3所示。此規劃乃擁有最小之總物料運輸流量554.49(個×公尺/分)。

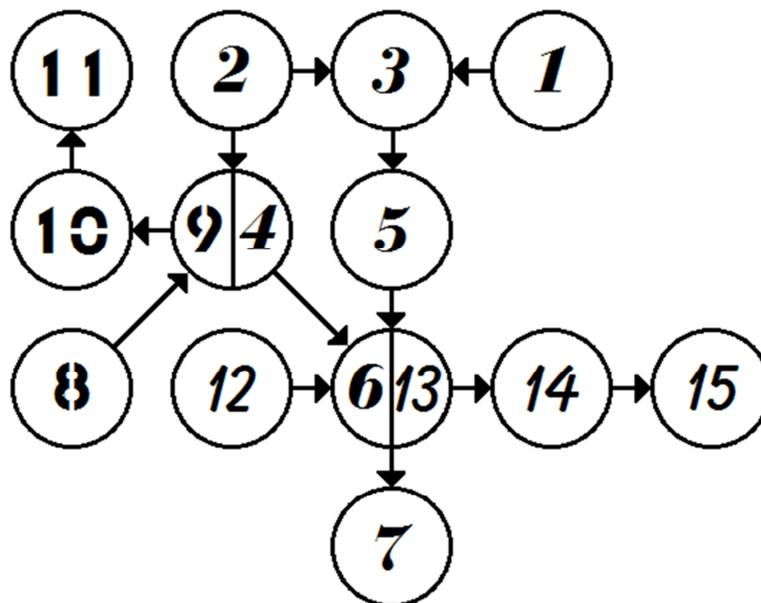


圖 4.3 三條生產線最小總物料運輸流量之最佳規劃輪廓

資料來源：本研究整理

4.3 碎形維度之運用

求出最小之總物料運輸流量之最佳生產線規劃輪廓後，將處理生產線規劃的可利用廠房空間佈置問題。藉由碎形維度為基礎之馬賽克移動技術來達成空間複雜度最小化的環境，本研究提出二種不同類型之可利用廠房空間，一為正矩形可利用廠房空間圖4.4，此外，為因應實際的廠房空間，本研究另提出一不規則形之可利用廠房空間佈置，如圖4.5。

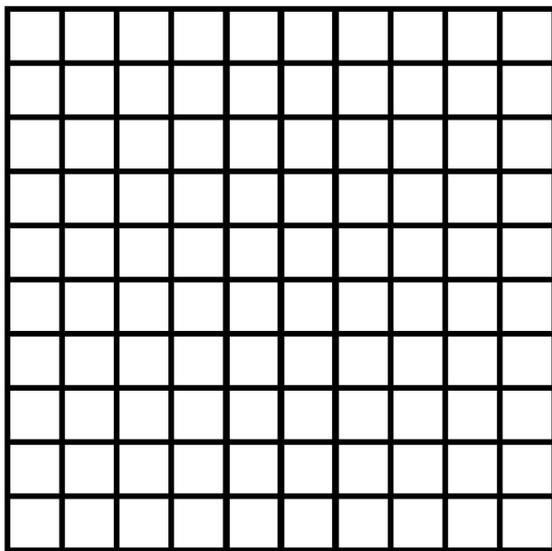


圖 4.4 正矩形可利用廠房空間

資料來源：本研究整理

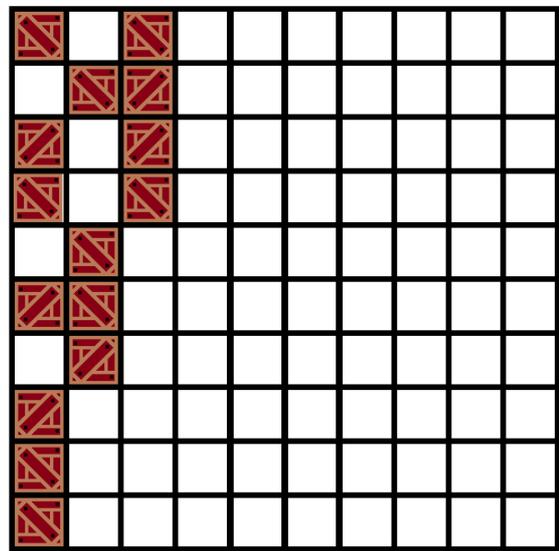


圖 4.5 不規則形可利用廠房空間

資料來源：本研究整理

4.3.1 正矩形可利用廠房空間

經過碎形維度計算之馬賽克移動後，在正矩形可利用廠房空間的結果如圖4.6，此佈置為最小碎形維度約1.145652，由圖4.7中顯示在此可利用之正矩形廠房空間裡，由上階段所規劃之最小總物料運輸流量最佳生產線坐落位置傾向在可佈置空間中的中心點位置，因為佈置在中心點的位置，可以造成較佳的對稱性，也因此導致產生空間精簡的感覺。

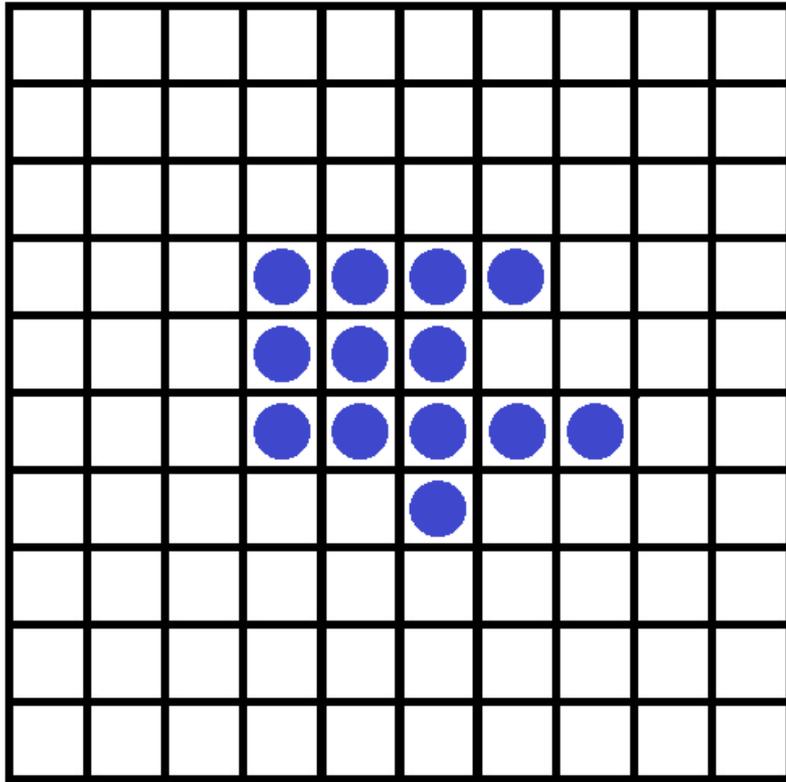


圖4.6正矩形可利用廠房空間最佳佈置圖

資料來源：本研究整理



圖4.7正矩形可利用廠房空間最佳佈置3D模擬示意圖

資料來源：本研究整理

4.3.2 不規則形可利用廠房空間

經過碎形維度計算之馬賽克移動後，在不規則可利用廠房空間的結果如圖4.8，此佈置為最小碎形維度約1.6542348，由圖4.9中顯示在此不規則可利用廠房空間裡，由上階段所規劃之最小總物料運輸流量最佳生產線坐落位置傾向在可佈置空間中間偏右的位置，因為佈置在偏右的位置，對於左邊之不規則區域較遠，在視覺上可與左邊不規則區域作為區隔，也因此導致產生空間精簡的感覺。

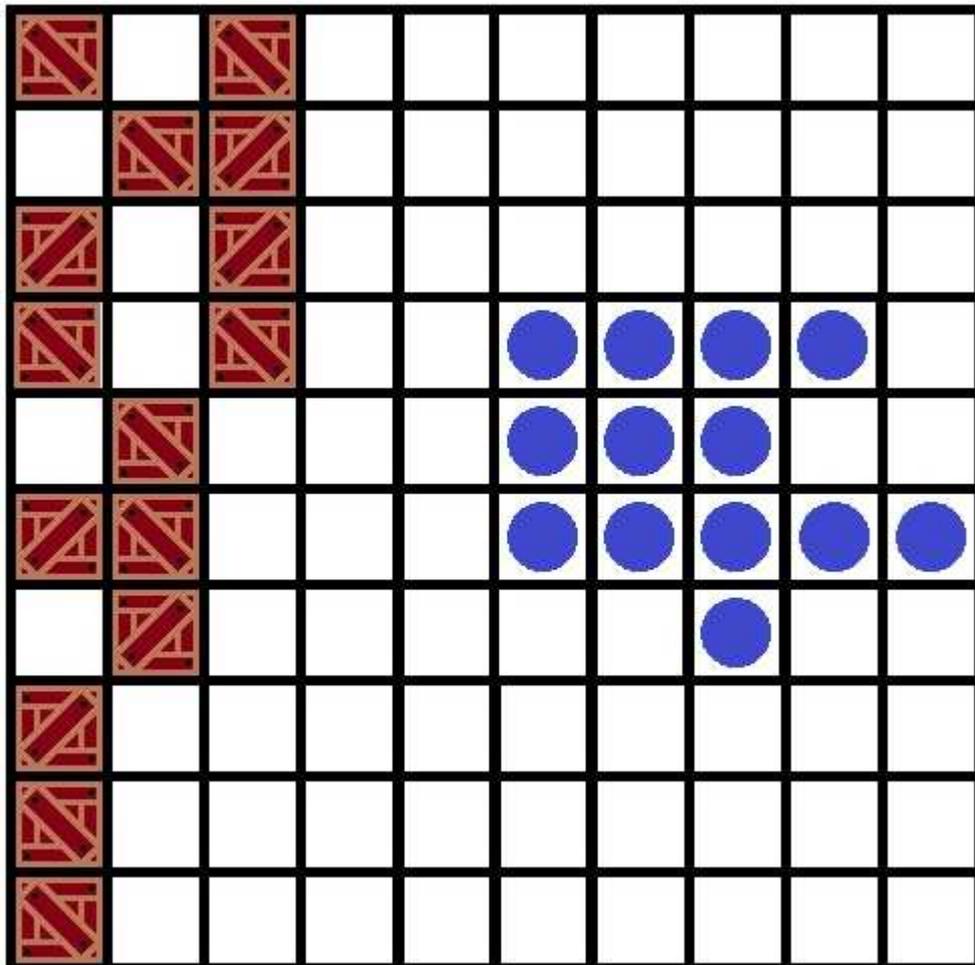


圖4.8不規則形可利用廠房空間最佳佈置圖

資料來源：本研究整理

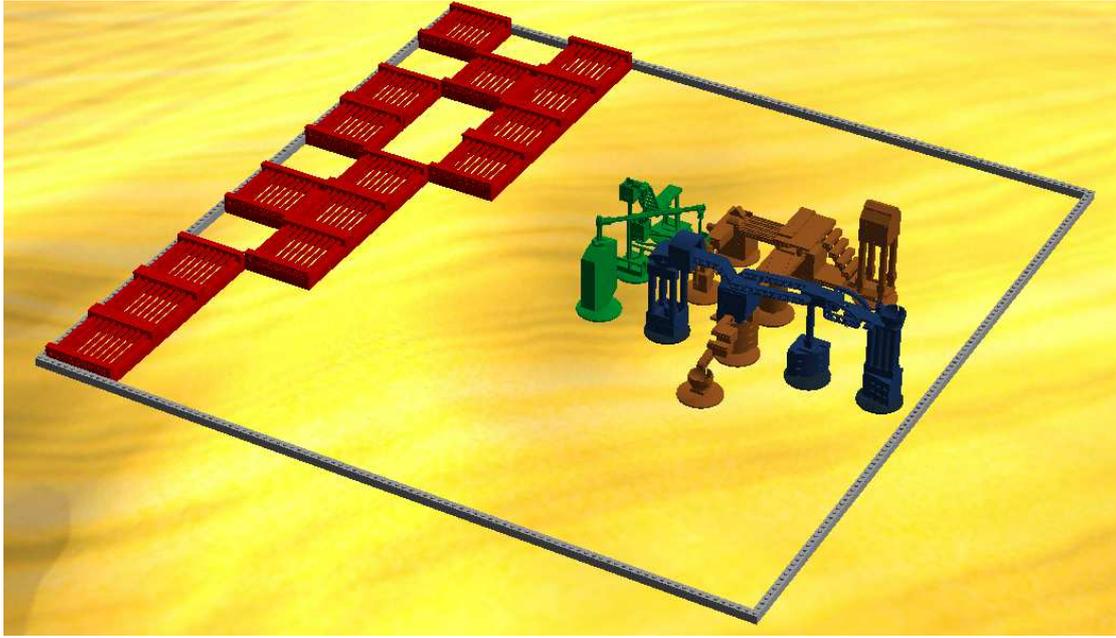


圖4.9不規則形可利用廠房空間最佳佈置3D模擬示意圖

資料來源：本研究整理

第五章 結論與建議

5.1 結論與建議

在各國經濟貿易競爭日漸激烈的現今，為了能使企業可以在其任何產業裡持續生存下去，企業通常會運用各種手段來達成目標，像是以讓人印象深刻的銷售手法來增加市占率，或是以高報酬來聘請人才或留住人才，並且砸重本來孕育人才，甚至是仰賴財管人員錙銖必較的專業計算，但是縱使在最後財管人員精算後仍然發現，增加企業競爭力最有效的方式便是降低成本，然而降低成本的方式有很多種，在製造生產成本裡最常見的如上下游整合，或是通路安排、供應鏈調整，但是在多數研究中皆指出，佔製造生產成本最大部分就是物料搬運成本，因此本研究以降低物料搬運成本為一目標。

在各個企業追求最低成本的同時，相對的員工壓力問題開始陸續出現在各國頭版或社會新聞裡，員工感受也在漸漸地抬頭，除了所造成的員工壓力激增問題，另外，員工還必須面對自己生活環境的壓力，已經有很多研究指出，工作環境會影響員工滿意度，進而影響企業績效，因此各企業開始顧及員工對於工作環境的感受，開始建構以員工感受為主的工作環境，日本 NEC 和三菱公司的研究員指出，在 2000 人的調查裡發現，大約有 40% 的人經常因辦公桌上雜亂的紙張、用品而發怒，因此簡潔的工作環境較能被員工所接受。

因此本研究所提出之 SPS 模型先以螞蟻演算法來計算出最低物料搬運成本的生產線設計，降低產品的製造生產成本，對一企業而言製造生產成本的降低首要可帶來可觀之利潤，並在在行銷的銷售販賣上可助一臂之力，並且在通路鋪貨上企業的彈性也更為增加，一併造福其上下游

廠商，同時也可為企業在同業間大大提升競爭力，提高爭奪市場佔有率的勝算。

同時 SPS 模型以碎形維度為依據，以最小碎形維度來尋求在固定廠房下最精簡佈置，又因目前全球經濟環境的影響，產業與企業對於大環境的壓力自然渲染至員工身上，因此本研究所提出之 SPS 模型可以改善工廠環境，本研究假設員工在一個簡單舒適的廠房裡工作較能心無旁騖，以視覺降低心理上的負擔，因此在此精簡佈置下工作能感受愉悅的工作環境，進而增加其員工滿意度，高水準的員工滿意度可以帶來的眾多優勢，一方面可以留住人才甚至吸引人才，增加企業形象，建立企業良好口碑，間接影響產品購買率，最重要的是還能增加公司績效，並且精簡佈置還可防範因空間雜亂而導致的安全意外發生，員工在工作時也能較有安全感，此 SPS 模型是一舉數得的創新手法。

過去有眾多研究運用螞蟻演算法求得最低物料搬運成本，但是極少數研究有進一步考慮到員工感受，或是同時考慮二個不同的領域的目標，因此本研究採用此 SPS 模型是為一事半功倍創新手法，以期達到綜效的結果，所以本研究盼望可以以此 SPS 模型構想實際發揮其功效，運用在各企業或是產業裡，增加其競爭力，更重要的是降低員工壓力，擺脫血汗工廠的惡名。

5.2 未來研究方向

本研究建議未來研究可以朝向更實際的廠房佈置前進，本研究只探討一組生產線，但是在實際情況可能更加複雜，因此建議未來學者可以參考實際廠房狀況進行研究，此外實際的廠房空間大小、規格必然更為被侷限，因此可以以更為多變化的廠房空間進行規劃，更為貼近實際狀

況，讓更多企業可以參考利用，以及本研究僅探討平面 2D 的機器陳列問題，但是目前已經發展出懸掛式的設備，便是涉入 3D 立體的空間規劃問題，若以能在實際廠房應用的考量，3D 立體的空間規劃問題是必然面對的問題。

另外本研究所提出之 SPS 模型期望能提高員工滿意度，因此建議未來研究能以實證研究來證實其效果，並提出證據證明本研究 SPS 模型對於員工滿意度改善之程度，增加本研究之貢獻，藉此更能代表研究所提出之 SPS 模型所扮演的墊腳石角色，盼望本研究能為未來相關研究開創出新的里程碑。

參考文獻

一、中文文獻

1. 方式光、李学典(民 80)，李嘉诚成功之路，香江出版公司。
2. 李逸洋(民 93)，創新、進取、專業，研習論壇，42 期，49 頁。
3. 藤田田(民 82)，我是最會賺錢的人物，博聞堂。

二、英文文獻

1. Allegri, T. M. (1984), Material Handling: Principles and Practices, N. Y.: Van Nostrand.
2. Ali Taghavi & Alper Murat (2011), A heuristic procedure for the integrated facility layout design and flow assignment problem, Computers & Industrial Engineering, Vol. 61, No.1, pp. 55-63.
3. Apple J. M. (1977), Plant Layout and Material Handling, Wiley, New York. Askin G.G.
4. Arnett, Dennis B., Debra A. Laverie & Charlie McLane (2002), Using Job Satisfaction and Pride as Internal Marketing Tools, Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly, Vol.43, No.2, pp. 87-96.
5. Augusto T. de Albuquerque, Mounir K. El Debsa & Antonio M.C. Melo (2012), A cost optimization-based design of precast concrete floors using genetic algorithms, Automation in Construction, Vol.22, pp. 348-356.
6. Barlow, M. T. & Bass, R. F. (2000), Divergence form operators on fractal-like domains, Journal of Functional Analysis, Vol.175, pp. 214-247.
7. Bandura, A. & Jourden, F. J. (1991), Self-regulatory mechanisms governing the impact of social comparison on complex decision making, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.60, pp. 941-951.
8. Barnsley, M. (1988), Fractals Everywhere, New York: Academic Press.
9. Benoît B. Mandelbrot (1967), How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science, Vol.156, No.3775, pp. 636-638.
10. Benoît B. Mandelbrot (1977), The Fractal Geometry of Nature.
11. Bentley, P. J., Gordon, T.G., Kim, J. & Kumar, S. (2001), New Trends in Evolutionary Computation, In Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, pp. 162-169.

12. Black, J. S. & Gregersen, H. B. (1997), Participative decision-making: An integration of multiple dimensions, Human Relations, Vol.50, No.7, pp. 859-879.
13. Bonabeau, E., Dorigo, M. & Theraulaz, G. (1999), Swarm Intelligence: from Natural to Artificial Systems, New York, NY: Oxford University Press, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity.
14. Braglia, M. (1996), Optimisation of a Simulated-Annealing-based Heuristic for Single Row Machine Layout Problem by Genetic Algorithm, International Transactions in Operational Research, Vol.3, No.1, pp. 37-49.
15. Bullnheimer, B., Hartl, R. F. & Strauss, C. (1997), Applying the ant system to the vehicle routing problem, In: Second Metaheuristics International Conference, MIC'97, Sophia-Antipolis, France.
16. Bullnheimer, B., Hartl, R. F. & Strauss, C. (1999), A new rank based version of the ant system: a computational study, Central European Journal of Operations Research, Vol.7, No.1, pp. 25-38.
17. Cantor, Georg (1883), Grundlagen einer allgemeinen Mannichfaltigkeitslehre, Ein mathematisch-philosophischer Versuch in der Lehre des Unendlichen. Leipzig: Teubner. Also (without preface) in Mathematische Annalen 21, and Abhandlungen, pp.165–208.
18. Carlopio, J.R (1996), Construct validity of a physical work environment satisfaction questionnaire, Journal of Occupational Health and Psychology, Vol.1, pp.330-344.
19. Carlos Bousoño-Calzón & M. R. W. Manning (1995), The Hopfield Neural Network Applied to the Quadratic Assignment Problem, Neural Computing and Applications, Vol.3, No.2, pp. 64-72.
20. Caro, G. D. & Dorigo, M. (1998), Two Ant Colony Algorithms for Best-Effort Routing in Datagram Networks, Proceedings of the Tenth

- IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS'98), Las Vegas, Nevada, IASTED/ACTA Press, pp. 541-546.
21. Chen, J. C., Dai, R. D. & Chen, C.W. (2008), A practical fab design procedure for wafer fabrication plants, International Journal of Production Research, Vol.46, No.10, pp. 2565-2588.
 22. Chen, J. M. (1999), Fractal characterization of fabric wrinkle image, Journal of China Textile University (English Edition), Vol.16, No.3, pp. 86-89.
 23. Cheng, Y.C., Lee, P.J. & Lee, T.Y. (1999), Self-similarity Dimensions of the Taiwan Island Landscape, Computers & Geosciences, Vol.25, No.9, pp. 1043-1050.
 24. Chu, S. C., Roddick, J. F. & Pan, J. S. (2004), Ant Colony system with communication strategies, Information Sciences, Vol.167, No.1-4, pp. 63-76.
 25. Collins T. D. (1998), The application of software visualization technology to evolutionary computation: a case study in Genetic Algorithms, Ph.D. thesis, The Open University.
 26. David K. Goldstein & John F. Rockart (1984), An examination of work-related correlates of job satisfaction in programmer/analysts, MIS Quarterly, Vol.8, No.2, pp. 103-115.
 27. Deb, S.K., Bhattacharyya, B. & Sorkhel, S.K. (2001), Management of machine layout and material handling system selection using hybrid approach, In Proceedings of the International Conference on Logistic and Supply Chain Management.
 28. European Commission (2011), Digital factories: Manufacturing design and product lifecycle management, extract from work programme.
 29. Decenzo, D. A. & Robbins, S. P. (1997), Human Resource Management,

5th ed., New Youk : J. Wiley.

30. Dole, Carol & Richard G Schroeder (2001), The Impact of Various Factors On The Personality, Job Satisfaction and Turnover Intentions of Professional accountants, Managerial Auditing Journal, Vol.16, pp. 234-245.
31. Dorigo M., V. Maniezzo & A. Colorni (1991a), The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process, Technical Report No. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, Italy.
32. Dorigo M., V. Maniezzo & A. Colorni (1991b), Positive Feedback as a Search Strategy, Technical Report No. 91-016, Politecnico di Milano, Italy.
33. Dorigo M. (1992), Optimization, Learning and Natural Algorithms (in Italian), Ph.D. thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
34. Dorigo M., V. Maniezzo & A. Colorni (1996), The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, Vol.26, No.1, pp. 29-41.
35. Dorigo M. & L. M. Gambardella (1997a), Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem, BioSystems, Vol.43, pp. 73-81.
36. Dorigo M. & L. M. Gambardella (1997b), Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.1, No.1, pp. 53-66.
37. El-Rayah, T. E. & Hollier, R. H. (1970), A review of plant design techniques, International Journal of Production Research, Vol.8, No.3, pp. 263-279.
38. Felix Hausdorff (1919), Dimension und äußeres Maß, Mathematische Annalen, Vol.79, No.1–2, pp. 157-179.
39. Ficko, M., Brezocnik, M. & Balic, J. (2004), Designing the layout of

- single- and multiple-rows flexible manufacturing system by genetic algorithms, Journal of Materials Processing Technology, Vol.157-158, pp. 150-158 .
40. Frank Gilbreth & Lillian Gilbreth (1920), Time Study and Motion Study as Fundamental Factors in Planning and Control: An Indictment of Stop-watch Time Study, Read before the New York Section of the Taylor Society, December 16, Montclair, N.J.: The Mountainside Press.
41. Frauenberger, C., Stockman, T., Putz, V. & Holdrich, R. (2005), Mode independent interaction pattern design, In Proceedings of 9th International Conference on Information Visualization, pp. 24-30.
42. Gambardella L. & Dorigo M. (1995), Ant-Q: A Reinforcement Learning approach to the traveling salesman problem, Proceedings of ML-95, Twelfth International Conference on Machine Learning, Tahoe City, CA, A. Prieditis and S. Russell (Eds.), Morgan Kaufmann, pp. 252–260.
43. Gambardella L., Taillard E. & Dorigo M. (1999), Ant colonies for the Quadratic Assignment Problem, Journal of the Operational Research Society, Vol.50, pp. 167-176.
44. Gen, M., Lin, L. & Zhang, H. (2009), Evolutionary techniques for optimization problems in integrated manufacturing system: State-of-the-art-survey, Computers & Industrial Engineering, Vol.56, pp. 779-808.
45. Gong, D., G. Yamazaki, M. Gen & W. Xu (1999), A Genetic Algorithm Method for One-dimensional Machine Location Problems, International J. of Production Economics, Vol.60/61, pp. 337-342.
46. Gouldner, Alvin W. (1960), The norm of reciprocity: A preliminary statement, American Sociological Review, Vol.25, pp. 161-178.
47. Grassé, P. (1959), La reconstruction du nid et les coordinations inter-individuelles chez *Bellicositermes Natalensis* et *Cubitermes* sp. la

- théorie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs, Insectes sociaux, Vol.6, pp. 41-81.
48. Han, K.H. & Kim, J.H. (2002), Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm for a Class of Combinatorial Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.6, No.6, pp. 580-593.
 49. Hassan, M., Hogg, G. & Smith, D. (1986), SHAPE: A construction algorithm for area placement evaluation, International Journal of Production Research, Vol.24, No.5, pp. 1283-1295.
 50. Helge von Koch (1904), Arkiv för matematik, Astronomi, och Fysik 1, pp. 681-702.
 51. Heragu, S. S. & Kusiak, A. (1988), Machine layout problem in exible manufacturing systems, Operations Research, Vol.36, No.2, pp. 258-268.
 52. Heragu, S. S. (1997), Facilities Design, Boston: PWS Publishing.
 53. Heskett J. L., Jones T. O., Loveman G. W., Sasser W. E. Jr. & Schlesinger L. A. (1994), Putting the service profit chain to work, Harvard Business Review, pp. 164-174.
 54. Holthaus, O. & Rajendran, C. (2005), A fast ant-colony algorithm for single-machine scheduling to minimize the sum of weighted tardiness of jobs, Journal of the Operational Research Society, Vol.56, pp. 947-953.
 55. Ho, Y. C. & Moodie, C. L. (1998), Machine layout with a linear single-row flow path in an automated manufacturing system, Journal of Manufacturing Systems, Vol.17, No.1, pp. 1-22.
 56. Hoppock, R. (1935), Job satisfaction, New York: Harper and Brothers.
 57. Horbach, S., Ackermann, J., Müller, E. & Schütze, J. (2011), Building blocks for adaptable factory systems, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.27, No.4, pp. 735-740.
 58. Houshyar, A. & McGinnis, L.F. (1990), A heuristic for assignment facilities to locations to minimize WIP travel distance in a linear facility,

- International Journal of Production Research, Vol.28, No.8, pp. 1485-1498.
59. Ivancevich, J. & Matteson, M. (1980), Optimizing human resources: A case for preventative health and stress management, Organizational Dynamics, Vol.9, pp.4-25.
60. John Briggs & F. David Pest (1989), Turbulent Mirror: an Illustrated Guide to Chaos Theory and Science of Wholeness, Harpen & Row Publishers.
61. Junior, W. K. & Guanabara, A. S. (2005), Methodology for Product Design Based on the Study of Bionics, Materials & Design, Vol.26, No.2, pp. 149-155.
62. Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995), Particle Swarm Optimization, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, IV, pp. 1942–1948.
63. Kennedy, J., Eberhart, R. & Shi, Y. (2001), Swarm intelligence, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
64. Kenneth Bernhardt L., Naveen Donthu & Pamela A. Kennett (2000), A Longitudinal Analysis of Satisfaction and Profitability, Journal of Business Research, Vol.47, pp. 161-171.
65. Kinicki, A. & Kreitner, R. (2006), Organizational Behavior, Boston, MA: McGraw-Hill Irwin.
66. Koopmans, T.C. & M. Beckman (1957), Assignment problems and the location of economic activities, Econometric, Vol.25, pp. 53-76.
67. Korczynski (1998), The Shape of Future Fabs, Cleanrooms Magazine, PennWell Corporation.
68. Kouvelis, P. & Kim, M. W. (1992), Unidirectional loop network layout problem in automated manufacturing systems, Operations Research, Vol.40, No.3, pp. 533-550.

69. Kouvelis, P., Chiang, W.C. & Yu, G. (1995), Optimal Algorithms for Row Layout Problems in Automated Manufacturing Systems, IIE Transactions, Vol. 27, pp. 99-104.
70. Kuan, S. N., Ong, H. L. & Ng, K. M. (2006), Solving the feeder bus network design problem by genetic algorithms and ant colony optimization, Advances in Engineering Software, Vol.37, pp. 351-359.
71. Kumar, K. R., Hadjinicola, G. C. & Lin, T. L. (1995), A heuristic procedure for the single-row facility layout problem, European Journal of Operational Research, Vol.87, No.1, pp. 65-73.
72. Kurosaki, R., N. Nagao, H. Komada, Y. Watanabe & H. Yano (1997), AMHS for 300mm Wafer, IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference Proceedings, pp. 13-16.
73. Leitão, P. (2009), Holonic Rationale and Self-Organization on Design of Complex Evolvable Systems, In: Proceedings of the Fourth International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, LNAI, 5696, Springer, pp.13–24.
74. Leitão, P., Barbosa, J. & Trentesaux, D. (2012), Bio-inspired multi-agent systems for reconfigurable manufacturing systems, Eng. Appl. of AI, Vol.25, No.5, pp. 934-944.
75. Leung, J. (1992), A graph-theoretic heuristic for designing loop-layout manufacturing systems, European Journal of Operational Research, Vol.57, No.2, pp. 243-252.
76. Levary, R. R. & S. Kalchik (1985), Facilities layout– A survey of solution procedures, Computers and Industrial Engineering, Vol. 9, No.2, pp. 141-148.
77. Liao, C. J. & Juan, H. C. (2007), An ant colony optimization for single-machine tardiness scheduling with sequence-dependent setups, Computers and Operations Research, Vol.34, pp. 1899-1909.

78. Madu, C. N., Kuei, C. H., Lin & Chu-Hwa (1995), A Comparative Analysis of Quality Practice in Manufacturing Firms in the U. S. and Taiwan, Decision Sciences, Vol.26, No.5, pp. 621-635.
79. Ma, J., Chen, W., Zhao, L. & Dahai Zhao (2008), Elastic Buckling of Bionic Cylindrical Shells Based on Bamboo, Journal of Bionic Engineering, Vol.5, No.3, pp. 231-238.
80. Mandelbrot, B. B. (1982), The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco.
81. Mandelbrot, B. B. (1989), Fractal geometry: What is it, and what does it do? Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical and Physical Sciences, Vol.42, No.1864, pp. 3-16.
82. Mandelbrot, B. B. (1990), Negative fractal dimensions and multifractals, Physica A, Vol.163, No.1, pp. 306–315.
83. Maniezzo, V. (1999), Exact and approximate nondeterministic tree-search procedures for the quadratic assignment problem, INFORMS Journal on Computing, Vol.11, No.4, pp. 358–369.
84. Maniezzo, V. & Colomi, A. (1999), The ant system applied to the quadratic assignment problem, Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, Vol.11, No.5, pp. 769–778.
85. McMullen, Patrick R. (2001), An ant colony optimization approach to addressing a JIT sequencing problem with multiple objectives, Artificial Intelligence in Engineering , Vol.15, No.3, pp. 309-317.
86. Meyersdorf, D. & Taghizadeh, A. (1998), Fab layout design methodology: Case of the 300mm fabs, Semiconductor International, Vol.21, No.8, pp. 187-196.
87. Miller, Peter (2007), The Genius of Swarms, National Geographic Society.
88. Montreuil, B., Venkatadri, U. & Rardin, R. L. (1999), Fractal layout

- organization for job shop environments, International Journal of Production Research, Vol.37, pp. 501-521.
89. Nebeker, D., Busso, L., Werenfels, P. D., Diallo, H., Czekajewski, A. & Ferdman, B. (2001), Airline station performance as a function of employee satisfaction, Journal of Quality Management, Vol.6, 29-45.
90. Paul A. Fishwick Edited (2006), Aesthetic Computing, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp. 3-13.
91. Porter Michael E. (1980), Competitive strategy, Free Press.
92. Reiner, M. D. & Zhao, J. (1999), The Determinants of Job Satisfaction among United States Air Force Police, Review of Public Personnel Administration, Vol.19, No.3, pp. 5-18.
93. Reynolds, Craig (1987), Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model, SIGGRAPH '87: Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (Association for Computing Machinery), pp. 25–34.
94. Robbins, S. P. (1994), Management, 4th ed., New Jersey: Prentice-Hall.
95. Robbins, S. P. & Coulter, M. (1999), Management, six edition, N.J., Prentice-Hall, Inc.
96. Sahni, S. & Gonzalez, T. (1976), NP-complete approximation problem, Journal of Associated Computing Machinery, Vol.23, No.3, pp. 555-565.
97. Sarker, B. R., Wilhelm, W. E. & Hogg, G. L. (1998a), Locating sets of identical machines in a linear layout, Annals of Operations Research, Vol.77, No.1, pp. 183-207.
98. Sarker, B. R., Wilhelm, W. E. & Hogg, G. L. (1998b), One-dimensional machine location problems in a multi-product flowline with equidistant locations, European Journal of Operational Research, Vol.105, No.3, pp. 401-426.

99. Smith, P.C., L.M. Kendall & C.L. Hulin (1969), The Measurement of Satisfaction in Work and Retirement, Chicago: Rand McNally.
100. Spector, P. E. (1997), Job satisfaction. Application, assessment, causes and consequences, Thousand Oaks, C.A: Sage Publications Inc.
101. Stützle, T. (1998), Local Search Algorithms for Combinatorial Problems--Analysis, Improvements and New Applications, Ph.D. thesis, FB Informatik, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany.
102. Stützle, T. & Dorigo, M. (1999), ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem, Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science: Recent Advances in Genetic Algorithms, Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Programming and Industrial Applications, P. Neittaanmaki, J. Periaux, K. Miettinen and M. Makela, (eds.), John Wiley & Sons.
103. Stützle, T. & Hoos, H. (1997), The MAX-MIN Ant System and Local Search for the Travelling Salesman Problem, Proceedings for the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp. 309-314.
104. Stützle, T. & Hoos, H. (1999), MAX-MIN Ant System and Local Search for Combinatorial Optimization Problems, Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization.
105. Stützle, T. & Hoos, H. (2000), MAX-MIN Ant system, Future Generation Computer Systems, Vol.16, No.8, pp. 889-914.
106. Taylor, F. W. (1911), The principles of scientific management, New York: Harper & Row.
107. Tommelein, I.D., Levitt, R.E. & Hayes-Roth, B. (1992), Site Layout Modeling: How Can Artificial Intelligence Help? Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.118, No.3, pp. 594–611.
108. Tompkins J. A. & White J. A. (1984), Facilities planning, Wiley, New

York.

109. Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A. & Trevino, J. (1996), Facilities Planning, 2nd ed., Wiley & Sons, INC., New York.
110. Valor, M., Albert, F., Gomis, J.M. & Contero, M. (2003), Textile and tile pattern design automatic cataloguing using detection of the plane symmetry group, In Proceedings of Computer Graphics International, pp. 112-119.
111. Van Scotter, James R. (2000), Relationship of Task Performance and Contextual Performance with Turnover, Job Satisfaction and Affection Commitment, Human Resource Management Review, Vol.10, pp.79-95.
112. Venkatadri, U., Rardin, R. & Montreuil, B. (1997), A design methodology for fractal layout organization, IIE Transactions, Vol.29, pp. 911-924.
113. VFF, Holistic, extensible, scalable and standard Virtual Factory Framework, (FP7-NMP-2008-3.4-1, 228595). [Online], <http://www.vff-project.eu/>
114. Vroom, V. (1964), Work and Motivation, New York: Jon Wiley & Sons.
115. Wang, X. M. (2001), Composition art of fractal pattern with its implementation in computer, Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, Vol.13, No.1, pp. 83-86.
116. Wang, X. M. (2003), Algorithmic modeling techniques in computer-aided fractal art pattern design, Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), Vol.2003, No.1, pp. 46-50.
117. Watkins, C. J. C. H. & Dayan, P. (1992), Technical note: Q-learning, Machine Learning, Vol.8, No.3, pp. 279-292.
118. Wexley, K. N. & Yukl, G. A. (1984), Organizational Behavior and Personnel Psychology, Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, Inc.

119. Williams, L. L. (2005), Impact of nurses job satisfaction on organizational trust, Health Care Management Review, Vol.30, No.3, pp. 203-211.
120. William, W. (1840), The Philosophy of the Inductive Sciences, Founded upon their History, London: J. W. Parker.
121. Yan, C. Y. & Deng, X. X. (2003), Design of fractal artistic pattern, Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, Vol.25, No.5, pp. 801-804.
122. Yin P. Y. & Wang J. Y. (2006), Ant colony optimization for the nonlinear resource allocation problem, Applied Mathematics and Computation, Vol.174, pp.1438-1453.
123. Zhang, T., Yu, C., Zhang, Y. & Wenxin, T. (2007), Ant colony system based on the ASRank and MMAS for the VRPSPD, Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Vol.5, pp.3728-3731.
124. Zhang, Y. G., Sugisaka, M. & Li, X. J. (1998), Lifelike artificial trees based on growth iterated function system, Applied Mathematics and Computation, Vol.91, pp. 3-8.
125. Zwaan, S. V. D. & Marques, C. (1999), Ant colony optimization for job shop scheduling, Proceedings of the Third Workshop on Genetic Algorithms and Artificial Life (GAAL 99).

附錄一

詳細的螞蟻演算法詳見如下:

```
for (t=1, 2, ..., 1000) {
  for (k=0, 1, ..., TN-1)
    for (i ∈ NCk(t)) {
      (1) Calculate the deployed probability:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_j^k(t)}{\sum_{\ell \in N_D^k(t)} \tau_\ell^k(t)}$$

      With this probability, select a neighbor location
      j, j ∈ NDk(t).
      (2) Deploy i-th child on j-th neighbor location.
      (3) Save the data in LDk(t).
    }
  if (has deployed all units in space of the factory) {
    (1) calculate the transportation flow c(t).
    (2) Update the pheromone
    for (k=0, 1, ..., TN-1)
      for (i, j ∈ LDk(t)) {
        
$$\Delta\tau = B_0 \cdot e^{-\alpha \cdot (c(t) - c_1)}$$

        
$$\tau_j^k = \tau_j^k + \Delta\tau$$

      }
    }
  }
}
```

附錄二

Initialization: $\alpha=0, \beta=0$

Step 0: Given k

$$\left[\frac{D_1}{k} \right] = m_k, \quad \left[\frac{D_w}{k} \right] = n_k, \quad \text{and } J_k = \left\{ (x, y) \mid \begin{array}{l} x = 1, 2, \dots, m_k \\ y = 1, 2, \dots, n_k \end{array} \right\}$$

The position vector form a set of configuration for a SPS system, i.e., X_k

$$X_k = \{s_1, s_2, \dots, s_N\} \forall s_i \in J_k$$

$$\text{Specifically, } X_k = \{(x_{s_1}, x_{s_1}), (x_{s_2}, x_{s_2}), \dots, (x_{s_i}, x_{s_i}), \dots, (x_{s_N}, x_{s_N})\}$$

The four end-points (vertex) for a SPS system in horizontal and vertical axis are

$$x_L = \min\{x \mid x = x_{s_1}, x_{s_2}, \dots, x_{s_N}\}; \quad x_R = \max\{x \mid x = x_{s_1}, x_{s_2}, \dots, x_{s_N}\}$$

$$y_D = \min\{y \mid y = y_{s_1}, y_{s_2}, \dots, y_{s_N}\}; \quad y_U = \max\{y \mid y = y_{s_1}, y_{s_2}, \dots, y_{s_N}\}$$

Step1: Shift the SPS configuration to the lower-left corner as the initial candidate solution

$$\bar{X}(\alpha, \beta) = \left\{ (\bar{x}, \bar{y}) \mid \begin{array}{l} \bar{x} = x_{s_i} - x_L \\ \bar{y} = y_{s_i} - y_D \end{array} \forall i = 1, 2, \dots, N \right\}$$

$FD(\alpha, \beta)$ = the fractal dimension of $\bar{X}(\alpha, \beta)$

Step2: Determine the candidate solutions

$$\beta = \beta + 1$$

$$\bar{X}(\alpha, \beta) = \left\{ (\bar{x}, \bar{y}) \mid \begin{array}{l} \bar{x} = x_{s_i} - x_L + \alpha \\ \bar{y} = y_{s_i} - y_D + \beta \end{array} \forall i = 1, 2, \dots, N \right\}$$

IF $\max\{\bar{y}\} \leq n_k$ THEN

Calculate $FD(\alpha, \beta)$: the fractal dimension of $\bar{X}(\alpha, \beta)$

Return step2

ELSE

$$\alpha = \alpha + 1$$

IF $\max\{\bar{x}\} \leq m_k$ THEN

Set $\beta = -1$, Return step2

ELSE

Goto step 3

ENDIF

ENDIF

Step3: The optimal solution is

$FD^* = \min\{FD(\alpha, \beta) \forall \alpha, \beta\}$; and the configuration is $\bar{X}_{FD}(\alpha, \beta)$

and corresponding optimal configuration is

$$X^* = \bar{X}_{FD^*}(\alpha, \beta)$$