行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

精簡佈置與同時生產評估下之多生產線生產系統
研究成果報告(精簡版)

計 畫 類 別 ：個別型
計 畫 編 號 ：NSC 95-2416-H-343-001-
執 行 期 間 ：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日
執 行 單 位 ：南華大學企業管理學系

計 畫 主 持 人：藍俊雄

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：張東孟
碩士班研究生-兼任助理：邱誌偉

處 理 方 式 ：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2 年後可公開查詢

中 華 民 國 96 年 10 月 22 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

精簡佈置與同時生產評估下之多生產線生產系統

計畫類別：■ 個別型計畫　　□ 整合型計畫
計畫編號：95-2416-H-343-001-
執行期間：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

計畫主持人：藍俊雄
計畫參與人員：張東孟、邱誌偉

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：南華大學企業管理系

中 華 民 國 96 年 10 月 21 日

壹、摘要

本研究嘗試在有限空間下佈置一個簡約生產系統(Simplified Production System Model，簡稱 SPS 模式)與兩階段的求解步驟。本 SPS 模式不僅可決定出生產系統總物料運輸流量最小化之佈置，並可於廠房空間中遴選一區塊，將生產系統置入以使空間的複雜度最小化，同時達到精簡佈置的目標。SPS 模式之主要目標為二次分配問題(Quadratic Assignment Problem, QAP)，一般 QAP 問題中常僅考慮單一生產線之佈置，而有關工作站的規模、重工操作、多生產線以及有限廠房空間之問題均鮮少提及。此外，本研究運用了空間離散技術將空間中的無限可佈置位置有限化，進而使二維佈置的問題成功地加以求解。再者，由於簡約的工作環境常會引導員工的生產力提升，因此本研究第二目標將於受限的工廠空間中尋求最佳的區塊，將生產系統置入以達最小碎形維度(簡約佈置)的目標。最後本研究以一數值範例，詳細地說明 SPS 之求解步驟。綜言之，因 SPS 可運用電腦進行求解，而使本研究具有高度的重現性，企業針對不同條件的多生產線系統佈置僅須將其輸入參數更改即可，因此對實務上多生產線系統之佈置提供了一項具價值性的決策工具。

關鍵詞: 二次分配問題、生產線佈置、空間離散、碎形維度

Abstract

This paper 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 selects a specific site to deploy the production system for achieving the least complexity. The major objective of SPS model is regarded as a Quadratic Assignment Problem (QAP). Most QAPs consider the one-dimensional layout of a production line, however the size of workstation, the rework process, the layout of multi-production lines, and the finite factory space are seldom mentioned. The space discrete technique is applied to make the infinite deployable positions become finite, and therefore the two-dimensional layout of a production system can be conducted. In addition, the simplified design of a production environment is seldom caught attention, so the other goal of this study is going to select a site in a constrained factory space to deploy the production system to achieve the least complexity. A numerical example is followed to describe the detailed solving procedure of SPS model. In summary, this study applies computer programs to solve the SPS model, and thus it owns a repeated characteristic. Actually, this study 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*:** QAP, multi-production lines, space discrete, Fractal dimension

貳、前言

對一企業而言，物料搬運成本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 *et al*., 1996)。因此生產設施應該要有具體及完善的規劃，藉由達成最小總物料運輸流量的佈置，期以降低物料在搬運過程中所產生的成本。此外根據學者Apple (1983)之研究指出，每平方英呎的重新佈置約需耗費美金4元之成本，而這些重新佈置所耗費的成本未來都將轉嫁在產品的成本上，而此成本的上升將間接地降低企業在市場上的競爭優勢。因此，若生產設施缺乏具體及完善的佈置規劃，一但生產線系統完成佈置後，才發現物料運送規劃不佳，而欲重新更改佈置時，將會使企業蒙受一筆可觀的損失。綜上所述，有效率的設施佈置規劃，實屬今日工業上之一重要的議題。

有關總物料運輸流量最小導向下的生產設施佈置問題，常被歸屬為二次分配問題，即Quadratic Assignment Problem (QAP)。近年來有關QAP生產線設施規劃的研究，大多討論 n

個工作站要分配於 n 個不同的位置之中的問題，而有關有限工廠基地條件的討論則較少被提及。QAP最早由Koopmans及Beckman (1957)所提出，接著Lawler (1963)更以分支界限法(Branch and Bound Algorithms)求解QAP以獲取全域最佳解。Sahni 及 Gonzalez (1976)提及二次分配問題(QAP)之計算之時間複雜度乃屬於NP-hard之問題；而Gorey 及 Johnson (1979)更進一步指出，QAP的問題會隨著所欲佈置之工作站數目的增加，其所需要的演算時間將呈 2^n 倍的速率遞增，因此，QAP乃屬於困難最佳化的問題之一 (Pardalos *et al*., 1994; Frangioni, 1996)。目前針對QAP之發展主要可區分成兩大主軸，一為發展求解演算法以提昇其求解之效率，如模擬退火法(Simulated Annealing) (Gong *et al*., 1999)、禁忌搜尋法(Tabu Search) (Drezner, 2005)或基因演算法(Genetic Algorithms) (Misevicius, 2003)為近年來廣為學者所採用之求解方式。另一主軸則為參酌工廠實際運作之情況，修正QAP模型以符合實務生產設施規劃之運作，如Sarker *et al.* (1998)討論多生產線在工廠之佈置情形。此外，Gong *et al*.(1999)提出有關具有重複加工(重工)操作生產線佈置之研究，Christofides 和 Gerrard (1976)定義所謂的重工操作是由現在的操作階段回溯至之前操作階段，以達成我們設定的特有的操作目標，無論如何，上述的種種研究都僅專注於一維的生產線佈置，就實務的論點來看，多產品生產線之二維空間佈置問題遠比一維佈置問題來的更近於實務。

基於經驗，一個清爽簡約的工作環境，將會使員工的心情快樂，而一個快樂員工，將會伴隨著較高生產力的出現。Robbins *et al.* (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，接著有許多研究也同時認為，員工的滿意度與員工的工作績效有正面的相關性存在。更進一步來說，相當多的研究也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 *et al.*, 1994; Kenneth, 2000; Van Scotter, 2000; Neberker, 2001)。在碎形維度(Fractal Dimension)(Morse *et al.*,1985)未被提出之前，有關空間複雜度的議題著實缺乏相關且科學化的理論來進行分析與討論。近年來，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, 1983, 1989, 1990; Barnsley, 1988)。Lan *et al.* (2005)更進一步指出碎形維度在空間複雜度的衡量上常扮演著一個優良的指標。由上述原因，本研究亦採用碎形維度來衡量空間的複雜度。

綜合言之，本文以拓展Sarker *et al.* (1998)跟Gong *et al*.(1999)的研究，並追求一個最簡約的工廠佈置情境，以建構出一個更靠近實務的數學模型SPS模式。SPS模式首要針對受限的廠房空間下之多重生產線的二維佈置，並且考慮有關重工的操作，以及執行相同工作的工作站但來自不同的生產線可被合併佈置在一起，這就是本文所謂的共站佈置。SPS模式的首要目標是朝向追求佈置後的系統擁有最小的總物料運輸流量，次要目標則是在達成主要目標後之生產系統在一受限的工廠空間中尋求最佳的區塊將系統置入以達空間複雜度(碎形維度)最小化的目標。

接著本研究針對SPS模式發展出一套求解方法稱之為兩階段的求解過程，此解法的第一階段乃應用Lingo 9.0 extended version的語法針對第一目標建構出一個QAP模型，並選用該軟體內建之Global Solver以求出最小總物料運輸流量。而在第二階段，我們運用Visual Basic 6.0程式發展出一套程式，以追求在受限的廠房空間中多生產線系統之最小碎形維度下的佈置型態。本研究因採用Lingo9.0 extended version的語法以及Visual Basic 6.0語法施行模式的建構與求解，而使本模式具有高度的重現特性，工廠可根據其不同的情況，以參數設定的方式輸入本模式，即可取得該情況下之最佳解。

參、研究目的

本文以拓展Sarker *et al.* (1998)跟Gong *et al*.(1999)的研究，並追求一個最簡約的工廠佈置情境，以建構出一個更靠近實務的數學模型SPS模式。SPS模式首要針對受限的廠房空間下之多重生產線的二維佈置，並且考慮有關重工的操作，以及執行相同工作的工作站但來自不同的生產線可被合併佈置在一起，這就是本文所謂的共站佈置。SPS模式的首要目標是朝向追求佈置後的系統擁有最小的總物料運輸流量，次要目標則是在達成主要目標後之

生產系統在一受限的工廠空間中尋求最佳的區塊將系統置入以達空間複雜度(碎形維度)最小化的目標。

肆、研究方法

對一企業而言，物料搬運成本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 *et al*., 1996)。因此生產設施應該要有具體及完善的規劃，藉由達成最小總物料運輸流量的佈置，期以降低物料在搬運過程中所產生的成本，而有效率的設施佈置規劃，實屬今日工業上之一重要的議題。

Robbins *et al*. (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，接著有許多研究也同時認為，員工的滿意度與員工的工作績效有正面的相關性存在。更進一步來說，相當多的研究也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 *et al*., 1994; Kenneth, 2000; Van Scotter, 2000; Neberker, 2001)。基於經驗，一個清爽簡約的工作環境，將會使員工的心情快樂，而一個快樂員工，將會伴隨著較高生產率的出現。再者，在碎形維度(Fractal Dimension)(Morse *et al*.,1985)未被提出之前，著實缺乏科學化的理論來分析空間的複雜度，而許多研究者皆指出，空間的複雜度可用碎形維度來衡量(Mandelbrot, 1983, 1989, 1990; Barnsley, 1988)。Lan *et al*. (2005)更進一步提出碎形維度在空間複雜度的衡量上扮演著一個優良的指標。

本研究針對SPS模式發展出一套求解方法稱之為兩階段的求解過程，此解法的第一階段乃應用Lingo 9.0 extended version的語法針對第一目標建構出一個QAP模型，並選用該軟體內建之Global Solver以求出最小總物料運輸流量。而在第二階段，我們運用Visual Basic 6.0程式發展出一套程式，以追求在受限的廠房空間中多生產線系統之最小碎形維度下的區塊佈置。本研究因採用Lingo9.0 extended version的語法以及Visual Basic 6.0語法施行模式的建構與求解，而使本模式具有高度的重現性，工廠可根據其不同的情況，以參數設定的方式輸入本模式，即可取得該情況下之最佳解。

以下兩節將有關本研究所需的所有假設及符號加以詳細說明與介紹。

一、研究假設

1. 本研究探討一矩形廠房基地的多生產線佈置情況。
2. 本研究討論規模大小類似但執行不同功能的工作站之佈置。
3. 佈置工作站前，各生產線中工作站的生產順序為已知，且在同一空間中容許有多組生產線的佈置。此外，本研究亦探討不同生產線中但執行相同工作之工作站可合併佈置之情形，此情況就是所謂的共站佈置。
4. 本文所討論之運輸距離乃指兩兩工作站之中心點距離。
5. 本研究僅探討工作站之佈置，而有關工作站間緩衝區容量之問題並不加以討論。

二、符號說明

TF ：為總物料運輸流量。$TF=\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{N}Y_{ij}f_{ij}d_{e_ie_j}$

Y_{ij} ：為二元變數，當工作站 i 有物料運送至工作站 j 時，則 $Y_{ij}=1$；否則為 0。

f_{ij} ：工作站 i 到工作站 j 的單位時間的產品產出量。

$d_{e_ie_j}$ ：工作站 i 到工作站 j 的中心點直線距離，其中 e_i 表示工作站 i，e_j 表示工作站 j。

r ：工作站的平均半徑。

$d_{\min}$ ：工作站間可容許的最小間隔距離。

k：工作站間的佈置距離，其中$k \geq 2r + d_{\min}$。另外，k 指每個擺置工作站在空中佈　　置方格的寬度。
D_l：表示矩形佈置廠房基地的長度。
D_w：表示矩形佈置廠房基地的寬度。
N ：所需佈置工作站的總數。
(x,y)：佈置區內每個方格的位置代號，而每個可佈置工作站的位置方格，其面積皆為 k^2。每個可佈置方格皆可在不妨礙操作的前提下，擺置一個工作站。也就是說，在 k 是固定的情況下，一個方形佈置廠房基地的可佈置方格總數是可以被決定的，而來自不同生產線但執行相同工作的工作站可共同佈置在同一方格內。其中 x 所代表的是由最左下方算起的第 x 列，而 y 則為第 y 行。

J_k：J_k，$\mathrm{J}_k = \left\{ (x,y) \middle| \begin{array}{l} \forall x = 1,2,...,m_k \\ y = 1,2,...,n_k \end{array} \right\}$ 指的是在以 k 為兩相鄰工作站之佈置距離下，一個方形佈置廠房基地的所有可佈置方格所組成的集合；其中 m_k 代表以 k 為兩相鄰工作站之佈置距離下，矩形廠房基地長邊分配的格數，即 $m_k = \left[\frac{D_l}{k} \right]$。而 n_k 則代表矩形廠房基地短邊分配的格數，即 $n_k = \left[\frac{D_w}{k} \right]$。

X_k：X_k，$\mathrm{X}_k \in (e_1, e_2, ..., e_N) \forall e_i \in \mathrm{J}_k$，是以 k 為兩相鄰工作站之佈置距離下，由 N 個可佈置位置網格所組成之一組向量。
FD: 碎形維度(fractal dimension)。
b: 將矩形佈置空間於長及寬方向各分成 b 等份。
C(b): 工廠可佈置空間中整體生產系統所佔據的方格數。
$[h]$：取 h 之高斯值。

模型構建

以下說明為簡約生產系統(Simplified Production System Model，簡稱 SPS 模式)之構建。式(1)乃本研究之多目標函數，首要目標 Z_1 為在有限空間下追求所有工作站 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，亦即本研究的第一目標在求得整個生產系統的總物料運輸流量最小化之佈置。由於在一廠房平面空間佈置的方法有無限多種可能，因此本研究將空間以網格化離散的方式，將無限可佈置之點位轉換成有限個潛在可佈置位置後，再進行生產線中各工作站的佈置。Z_2 為本研究的第二目標，本目標乃追求簡約的佈置，在已完成第一目標的生產系統佈置後，追求有限廠房空間下的碎形維度最小化之佈置。式(2)所表現的即是廠房基地以 k 為兩相鄰工作站之佈置距離下所切割出之網格數目，其中 $\left[\frac{D_l}{k} \right] = m_k$，即在水平方向所切割得到之網格數，亦即在水平方向可切出 m_k 等份。至於在垂直方向，則切割為$\left[\frac{D_w}{k} \right] = n_k$ 等份。因此在該廠房基地，所有可能佈置之潛在位置共有 $m_k \times n_k$ 個網格，該值應大於或等於實際可佈置位置集合 J_k 中的元素個數；而 J_k 中元素個數要大於等於實際上所需佈置的工作站的總數 N。式(3)在說明每一個可佈置工作站位置之網格長度 k 至少要大於或等於 $2r + d_{\min}$。也就是說，該長度 k 所圍成的網格面積為工作站之最小所需之佈置面積。式(4)則說明了以 k 為兩相鄰工作站之佈置距離下，N 個工作站之位置可以用 N 維的位置向量 X_k 來表示。最後一個限制式，式(5)說明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，

且其單元處理的時間可以累加。

由於 SPS 模式為一多目標非線性規劃問題，其目標包含二次分配問題(QAP)與尋找一個擁有最小複雜度的生產系統之佈置。本研究嘗試分別以 Lingo9.0 extended version 套裝軟體之語法與 Visual Basic 6.0 語法建立兩階段求解程序，第一階段先執行在有限空間下各生產線中所有的工作站的最適佈置以達總物料運輸流量(*TF*)最小化之生產系統佈置。在完成第一階段的佈置後，本模式的次要目標是在此受限的工廠空間中尋求最佳的區塊置入生產系統以達碎形維度最小化的目標。下述即為本研究所發展之 SPS 模式。

SPS

$$\min_{X_k} \quad Z = [Z_1, Z_2] \tag{1}$$

$$Z_1 = TF = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} Y_{ij} f_{ij} d_{e_i e_j}$$

$$Z_2 = FD = \frac{logC(b)}{log\left(\frac{1}{b}\right)}$$

s.t.

$$\left\lceil \frac{D_l}{k} \right\rceil = m_k \quad \left\lceil \frac{D_w}{k} \right\rceil = n_k \,;\, m_k \times n_k \ge J_k \ge N \tag{2}$$

$$2r + d_{\min} \le k \tag{3}$$

$$X_k \in (e_1, e_2, \ldots, e_N) \forall e_i \in J_k \tag{4}$$

來自不同生產線但執行相同工作的生產單元需佈置於同一位置中 (5)

其中r、$d_{\min}$、D_l、D_w和 N 是給定的參數，X_k則是SPS模式中的決策向量。

演算法求解

為了求解SPS模式，本研究提出兩階段的求解程序。在第一階段中，本研究運用Lingo9.0 extended version的語法去建構一個QAP的數學模式，並藉由內建的Global Solver加以施行模式的求解，以決定出一個最小物料運輸流量的生產系統，此階段的語法詳列如下，語法中之數據值則是利用呼叫Excel檔匯入。更進一步來講，第一階段主要是在決定一個生產系統的佈置輪廓，在這個佈置輪廓決定之後，接著將進入第二階段，以尋找有限的佈置空間下追求最小的空間複雜度(spatial complexity)。

```
MODEL:
 SETS:
    Station/1..15/;
    Station2(Station, Station)/4,9 6,13/;
    Place/1..24/;
    SXP( Station, Place):     X;
    PXP( Place, Place):        T;
    SXS( Station, Station): N;
    spsp( Station, Place, Station, Place)| &1 #LT# &3 #AND# (( N( &1, &3) #NE# 0) #AND# ( T( &2, &4) #NE# 0)
#OR# ( N( &3, &1) #NE# 0) #AND# ( T( &4, &2) #NE# 0)): Y;
 ENDSETS

 DATA:
       N=@OLE('D:\N.xls','N');
       T=@OLE('D:\TT.xls','T');
 ENDDATA

@FOR( Station( B):@SUM( Place( J): X( B, J)) = 1);
@FOR( Place( J):@SUM( Station( B)|B#NE#9 #AND# B#NE#13: X( B, J)) <= 1);
@FOR( Station2(G, H ):@FOR( Place( J): X( G, J)= X( H, J)));
@FOR( Place( J):@SUM( Station( B): X( B, J)) <= 2);
@FOR( spsp( B, J, C, K):Y( B, J, C, K) >= X( B, J) + X( C, K) - 1);
```

```
MIN = @SUM( spsp( B, J, C, K): Y( B, J, C, K) *( N( B, C) * T( J, K)+ N( C, B) * T( K, J)));
@FOR( SXP: @BIN( X));
END
```

在第一階段完成時，生產系統的佈置輪廓已被確認，而在第二階段中，本研究將依序使生產系統的佈置輪廓在空間中以逐步移動的方式尋找使其空間中整體的碎形維度最小化的區塊位置。而此種逐步移動方式，本研究稱之為馬賽克移動技術(Mosaic-Moving Technique)，其詳細的逐步數學演算詳見如下。

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

Step 0: Given k

$$\left[\frac{D_l}{k}\right] = m_k,\ \left[\frac{D_w}{k}\right] = n_k, \text{ and } \mathrm{J}_k = \left\{(x,y) \middle| \forall \begin{matrix} x = 1, 2, \ldots, m_k \\ y = 1, 2, \ldots, n_k \end{matrix}\right\}$$

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

$$\mathrm{X}_k = \{s_1, s_2, \ldots, s_N\} \forall\ s_i \in \mathrm{J}_k$$

Specifically, $\mathrm{X}_k = \{(x_{s_1}, y_{s_1}), (x_{s_2}, y_{s2}), \ldots, (x_{s_i}, y_{s_i}), \ldots, (x_{s_N}, y_{s_N})\}$

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

$$x_L = \min\{x | x = x_{s_1}, x_{s_2}, \ldots, x_{s_N}\};\ \ x_R = \max\{x | x = x_{s_1}, x_{s_2}, \ldots, x_{s_N}\}$$

$$y_D = \min\{y | y = y_{s_1}, y_{s_2}, \ldots, y_{s_N}\};\ \ y_U = \max\{y | y = y_{s_1}, y_{s_2}, \ldots, y_{s_N}\}$$

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

$$\overline{X}(\alpha, \beta) = \left\{(\overline{x}, \overline{y}) \middle| \begin{matrix} \overline{x} = x_{s_i} - x_L \\ \overline{y} = y_{s_i} - y_D \end{matrix}\ \forall i = 1, 2, \ldots, N\right\}$$

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

Step2: Determine the candidate solutions

$$\beta = \beta + 1$$

$$\overline{X}(\alpha, \beta) = \left\{(\overline{x}, \overline{y}) \middle| \begin{matrix} \overline{x} = x_{s_i} - x_L + \alpha \\ \overline{y} = y_{s_i} - y_D + \beta \end{matrix}\ \forall i = 1, 2, \ldots, N\right\}$$

IF $\max\{\overline{y}\} \le n_k$ THEN

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

Return step2

ELSE

$\alpha = \alpha + 1$

IF $\max\{\overline{x}\} \le m_k$ THEN

Set $\beta = -1$, Return step2

ELSE

Goto step 3

ENDIF

ENDIF

Step3: The optimal solution is

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

and corresponding optimal configuration is

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

範例與模擬

本研究以某工廠之多生產線佈置為例，利用本文所提之SPS模式來進行矩形廠房基地最佳化之多生產線佈置設計。廠房基地係一長寬各100公尺之矩形空間，且必須於該空間中將三條不同的生產線(此三條生產線共具15個工作站)設法佈置。此三條生產線中各工作站運作之先後順序如圖1所示，而各工作站之平均規模大小為直徑6公尺的圓形範圍，且兩工作站間的可容許距離 $d_{\min} = 4$ 公尺。工作站編號1~7為第一條生產線，工作站編號8~11為第二條生產線，工作站編號12~15則屬於第三條生產線。工作站箭頭的方向與數值分別表示物料從一工作站運送至另一工作站的方向與單位時間通過之數量，各工作站的流量資訊詳見表1，其中工作站編號3與工作站編號5為因應其特定之操作目標(如產品需重複加工生產製造)，因此於該階段之生產流程具有迴流(Backtracking)之特點亦即本文所謂之重工。另外工作站編號9、10與工作站編號14、15也同樣具有迴流之特性。此外，屬於第一條生產線之工作站編號4與第二條生產線之工作站編號9，因此兩工作站均執行相同之工作故可共站佈置。而第一條生產線之工作站編號6與第三條生產線之工作站編號13也是有共站之特性。

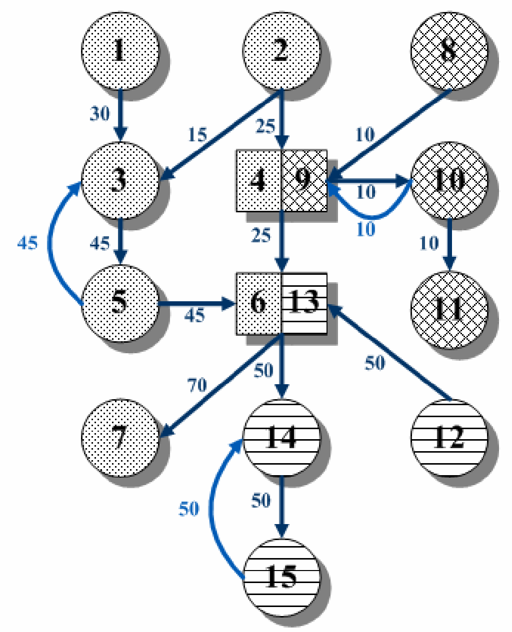

圖1 具三條生產線15個工作站之某廠生產流程圖

表1 工作站流量表

工作站 編號	後行工作站 編號	流量 (個/分)	生產線 編號
1	3	30	1
2	3,4	15,25	1
3	5	45	1
4	6	25	1
5	6	45	1
6	7	70	1
7	--	--	1
8	9	10	2
9	10	10	2
10	11	10	2
11	--	--	2
12	13	50	3
13	14	50	3
14	15	50	3

在經過Lingo9.0 extended version套裝軟體之建模與執行第一階段的最佳化運算後，其建議之三條生產線共15工作站之最佳佈置輪廓如圖2所示。該佈置乃擁有最小之總物料運輸流量554.49(個×公尺/分)。

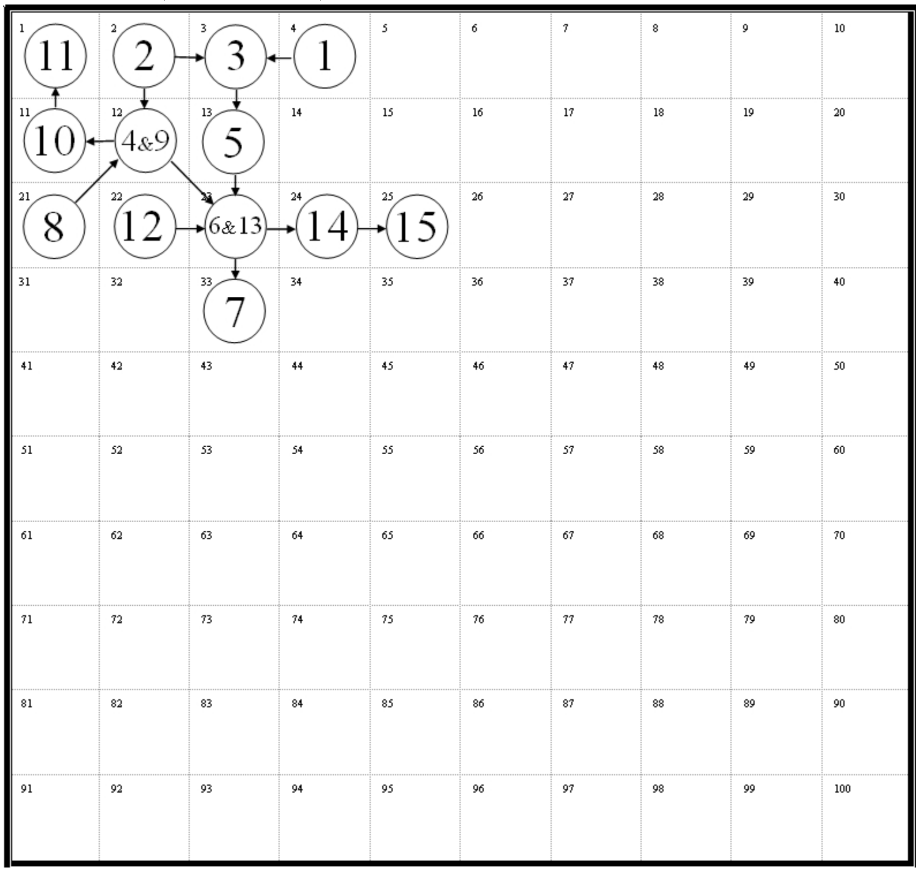

圖 2 本數值範例為三條生產線 15 個工作站之最佳佈置

備註：1.各網格之左上角編號為網格編號

2.圓圈內之編號為生產線之工作站編號

3.每一網格之長寬分別為 10 公尺長度

在完成第一階段總物料運輸流量最小化的目標後，第二階段將處理生產系統的佈置區塊問題。本階段藉由馬賽克移動的技術以達空間複雜度最小化的情境，而有關馬賽克移動的部份處理過程展現在圖3中。圖3中亦顯示出在一個有限空間中，生產系統的坐落位置傾向在可佈置空間中的中心點位置，此乃因為佈置在中心點的位置，會造成較佳的對稱性，也間接導致產生空間簡約的感覺。

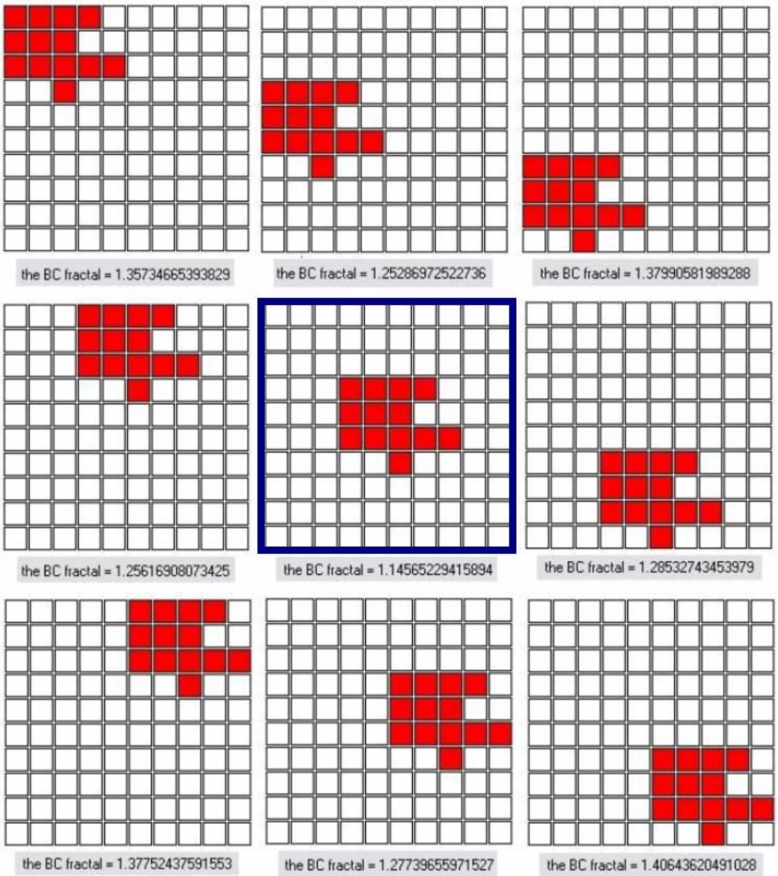

圖3 利用馬賽克移動技術決定空間複雜度最小化的佈置區塊之部份移動圖
(最佳區塊為正中間的位置)

伍、結果與討論

本研究主要是延伸二次分配問題應用到工廠多生產線系統工作站之二維佈置。本研究不僅探討有限的佈置空間、工作站的規模、重工操作的情形和共站的佈置，並且追求整體多重生產線系統在空間中佈置的簡約感覺。本研究主要建構一個多目標規劃模式，主要目標在追求整體物料運輸流量最小化，並且在達成主目標之後，更進一步追求在有限空間中選擇出最佳佈置區塊以達簡約的佈置感覺。

本研究之主要貢獻如下：首先本研究嘗試建構一多目標模式來拓展二次分配問題(Quadratic Assignment Problem, QAP)的應用到有限空間下多生產線系統之二維佈置，並執行佈置出空間簡約的感覺。第二，本研究藉由空間離散技術的應用，成功地將有限空間中的無限可佈置位置使其有限化，進而將二維空間中之生產系統佈置問題有效地落實。第三，本研究發展出一兩階段的求解過程，第一階段成功地完成多生產線系統之二維佈置，再藉由馬賽克移動的技術，成功地將第一階段佈置完成的生產系統在有限空間中逐步移動而選取出使空間複雜度最小化的佈置區塊。第四，本研究建構之兩階段求解過程，其中第一階段乃是運用套裝軟體Lingo9.0 extended版的語法加以建構，並透過內建之Global Solver加以求解。第二階段本研究以Visual Basic 6.0的語法發展程式以施行馬賽克移動。就實用性來看，當企業擁有工廠可佈置之廠房空間、生產線數、各工作站每單位時間生產個數與各項所需參數決定後，皆可透過本研究所提的兩階段求解過程加以求解，因此本模式具有高度的重現性，故在實務上極富應用之價值。

再者，大部分的二次分配問題(QAP)均屬於NP-Hard的問題，其所需耗費的求解時間通常非常地冗長，因此後續之研究方向可考慮發展啟發式(heuristic)搜尋法或藉由計算智慧(computational intelligence)的運用來求得最佳解的鄰近解，以有效地解決隨著QAP問題複雜度的增加而增加求解所需時間之困境，綜言之本研究對實務上之多生產線生產系統的佈置

提供了一項具價值性的決策工具。

陸、計畫成果自評

一、本研究之研究成果−本研究主要是延伸二次分配問題應用到工廠多生產線系統工作站之二維佈置。事實上本研究是提供了一個多目標規劃模式，其主要目標在追求整體物料運輸流量最小化，並且在達成主目標之後，更進一步追求在有限空間中選擇出最佳佈置區塊以達簡約的佈置感覺。此模式不僅探討有限的佈置空間、工作站的規模、重工操作的情形和共站的佈置，並且追求整體多重生產線系統在空間中佈置的簡約感覺。

二、提供實務之參考 −本研究藉由空間離散技術的應用，成功地將有限空間中的無限可佈置位置使其有限化，進而將二維空間中之生產系統佈置問題有效地落實，對實務而言較一維的佈置更貼近實務上的需要。再者，本研究建構之兩階段求解過程，其中第一階段乃是運用套裝軟體Lingo9.0 extended版的語法加以建構，並透過內建之Global Solver加以求解。第二階段本研究以Visual Basic 6.0的語法發展程式以施行馬賽克移動。就實用性來看，當企業擁有工廠可佈置之廠房空間、生產線數、各工作站每單位時間生產個數與各項所需參數決定後，皆可透過本研究所提的兩階段求解過程加以求解，因此本模式具有高度的重現性，故在實務上極富應用之價值。

柒、參考文獻

Apple, J.M., "Plant Layout and Material Handling", New York: John Wiley & Sons, 1983.

Barnsley, M., "Fractals Everywhere", New York: Academic Press, 1988.

Christofides, N. and Gerrard, M., "Special cases of the quadratic assignment problem", Management Science Research Report 391, Carnegie Mellon University, 1976.

Drezner, Z., "The extended concentric tabu for the quadratic assignment problem", *European Journal of Operational Research*(160), 2005, pp.416-422.

Frangioni, A., "Solving semideInite quadratic problems within nonsmooth optimization algorithms", *Computer Operational Research*(23), 1996, pp.1099-1118.

Gong, D., Yamazaki, G., Gen, M. and Xu, W., "A genetic algorithm method for one-dimensional machine location problems", *International journal of Production Economics* (60-61),1999, pp.337-342.

Gorey, M. R. and Johnson, D. S., "computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness", New York: W. H. Freeman, 1979.

Heskett, J. L., Jones, T. O., Loveman, G. W., Sasser, W. E., Jr., and Schlesinger, L. A., "Putting the Service-Profit Chain to Work", Harvard Business Rreview, March-April, 1994

Kenneth, B. L., Naveen Donthu, Kennett, P. A., "A Longitudinal Analysis of Satisfaction and Profitability", *Journal of Business Research*(47), 2000, pp.161-171.

Koopmans, T. C. and Beckman, M., "Assignment problems and the location of economics activities", *Econometrical*(25), 1957, pp.53-76.

Lan, C. H., Hsui, C. Y. and Wei, L. C., "A Complexity Perspective to Deploy Artistic Exhibits", *Journal of the Operational Research Society*, 2005, 56(10), pp.1151-1158.

Lawler, E. L., "The quadratic assignment problem", *Management Science*(9), 1963, pp.586-599.

Mandelbrot, B. B., "The Fractal Geometry of Nature", San Francisco: W.H. Freeman, 1983.

Mandelbrot, B. B., "Negative fractal dimensions and multifractals", *Physica A* (163), 1990, pp306-315.

Misevicius, A., "Genetic algorithm hybridized with ruin and recreate procedure: application to the quadratic assignment problem", *Knowledge-Based Systems* (16), 2003, pp.261-268.

Morse, D. R., Lawton, J. H., Dodson, M. M. and Williamson, M. H., "Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthopod body lengths", *Nature* (314), 1985, pp.731-733.

Neberker, D., Busso, L., Werenfels, P. D., Diallo, H., Czekajewski, A., Ferdman, B., "Airline Station Performance as a Function of Employee Satisfaction", *Journal of Quality Management* (6),2001, pp.29-45.

Pardalos, P. N., Rendl, F. and Wolkowicz, H., "The quadratic assignment problem: a survey and recent developments", *DIMACS Ser. Discrete Math. Theoret. Computer Science* (16), 1994, pp.1-41.

Robbins, Stephen P. and Coulter, Mary, Management, six edition, N.J., Prentice-Hall, Inc., 1999.

Sahni, S.and Gonzalez, T., "P-complete approximation problems", *JACM* (23), 1976, pp.555-565.

Sarker, B. R., Wilhelm, W. E. and Hogg, G. L., "One-dimensional machine location problems in a multi-product flowline with equidistant locations", *European Journal of Operational Research* (105), 1998, pp.401-426.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A. and Trevino, J., "Facilities Planning", New York: John Wiley & Sons, 1996.

Van Scotter, James R., "Relationship of Task Performance and Contextual Performance with Turnover, Job Satisfaction, and Affection Commitment", *Human Resource Management Review*, (10), 2000, pp.79-95.